

DINAMICA NON LINEARE DELLA MAGNETIZZAZIONE NELLO SWITCHING ASSISTITO DA CAMPI ALLE MICROONDE

*Massimiliano d'Aquino*¹, *Claudio Serpico*², *Giorgio Bertotti*³, *Isaak D.Mayergoyz*⁴, *Roberto Bonin*⁵

¹ Dipartimento per le Tecnologie, Università degli Studi di Napoli Parthenope
Centro Direzionale di Napoli – Isola C4, 80143 Napoli

² Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Università degli Studi di Napoli Federico II,
via Claudio 21, I-80125 Napoli

³ Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM),
strada delle Cacce 91, I-10135 Torino

⁴ECE Dept and UMIACS, University of Maryland, College Park, MD (USA)

⁵Politecnico di Torino, Sede di Verres (AO).

Uno dei problemi fondamentali derivanti dalla continua miniaturizzazione dei dispositivi di registrazione magnetica è la stabilità termica degli stati di magnetizzazione. Tale problematica si risolve in parte aumentando l'anisotropia del materiale magnetico e, di conseguenza, il campo magnetico applicato necessario a 'rovesciare' la magnetizzazione. Dato che è molto difficile raggiungere valori di campo molto elevati nei dispositivi attuali, recentemente è stata dedicata molta attenzione al design di nuove strategie per lo switching della magnetizzazione, in cui il campo applicato è assistito da un'ulteriore azione esterna. Esempi di tali approcci sono lo switching assistito termicamente e da campi alle microonde[1].

In questa memoria, gli autori propongono un approccio analitico per lo studio dettagliato dello switching assistito suggerendo l'uso della dinamica caotica causata dal campo alle microonde per indurre la magnetizzazione al superamento della barriera di potenziale dovuta all'anisotropia magnetica. Si considerano particelle magnetiche uniformemente magnetizzate soggette sia a campi magnetici DC che a campi a radio-frequenza (RF) applicati in direzioni e con polarizzazioni diverse (da circolare a lineare).

La dinamica della magnetizzazione è governata dall'equazione di Landau-Lifshitz (LL). Il campo magnetico efficace è il gradiente rispetto alla magnetizzazione dell'energia libera, che tiene conto delle interazioni magnetostatiche, di anisotropia uniassiale e di Zeeman. L'equazione di LL definisce un sistema dinamico che evolve sulla sfera unitaria.

Nel caso di particelle magnetiche uniassiali e campi circolarmente polarizzati, il caos è escluso e la simmetria del problema permette di derivare analiticamente tutti i possibili regimi dinamici: soluzioni sinusoidali periodiche (P-modes) e soluzioni quasi periodiche (Q-modes)[2]. In questa situazione, la risonanza non lineare e le instabilità di tipo foldover sono utilizzate per ottenere lo switching della magnetizzazione con campi al di sotto del limite di Stoner-Wohlfarth (SW).

Quando, invece, si considerano campi linearmente polarizzati, l'equazione LL definisce un sistema dinamico non autonomo, dato che il secondo membro dipende esplicitamente dal tempo. In questo caso, oltre a risonanza non lineare e foldover, il sistema presenta diverse forme di instabilità parametrica e comportamenti caotici che possono essere usati per assistere lo switching della magnetizzazione.

Una prima osservazione è che, in condizioni tipiche delle tecnologie utilizzate, sia il damping che l'ampiezza del campo RF sono parametri piccoli della dinamica. Perciò, la dinamica della magnetizzazione in presenza del damping e del campo RF può essere trattata come perturbazione della dinamica conservativa. Le traiettorie della dinamica imperturbata

(conservativa) sono le linee di livello dell'energia libera sulla sfera unitaria. In questa rappresentazione, i minimi (massimi) dell'energia libera rappresentano equilibri stabili (instabili) e le corrispondenti regioni circostanti sono separate da traiettorie speciali dette separatrici, che passano per i punti di sella dell'energia libera.

Quando si applica un piccolo campo RF, la dinamica della magnetizzazione deve essere studiata considerando il ritratto di fase della cosiddetta mappa stroboscopica[3]. La dinamica imperturbata rappresenta il termine di ordine zero dello sviluppo in serie di Taylor di questa mappa rispetto al parametro piccolo. Esiste un valore di soglia oltre il quale si crea una regione caotica vicino alle separatrici. Questa situazione è nota come caos eteroclino[3]. Fondamentalmente, l'insorgere di questa dinamica caotica produce una riduzione effettiva della barriera di potenziale tra l'equilibrio stabile e instabile, il che può assistere lo switching della magnetizzazione.

Tale riduzione effettiva della barriera di potenziale può essere calcolata in funzione della componente di campo RF per mezzo della funzione di Melnikov, valutata sulle separatrici del sistema imperturbato. Per i dettagli si fa riferimento a [4]. Questi risultati permettono di determinare le soglie in termini di ampiezza del campo RF per realizzare lo switching assistito (fig. 1). Per i parametri di fig. 1 la tecnica proposta predice una riduzione del 20% del campo coercitivo rispetto al limite di SW. Simulazioni numeriche dell'equazione LL confermano le previsioni analitiche.

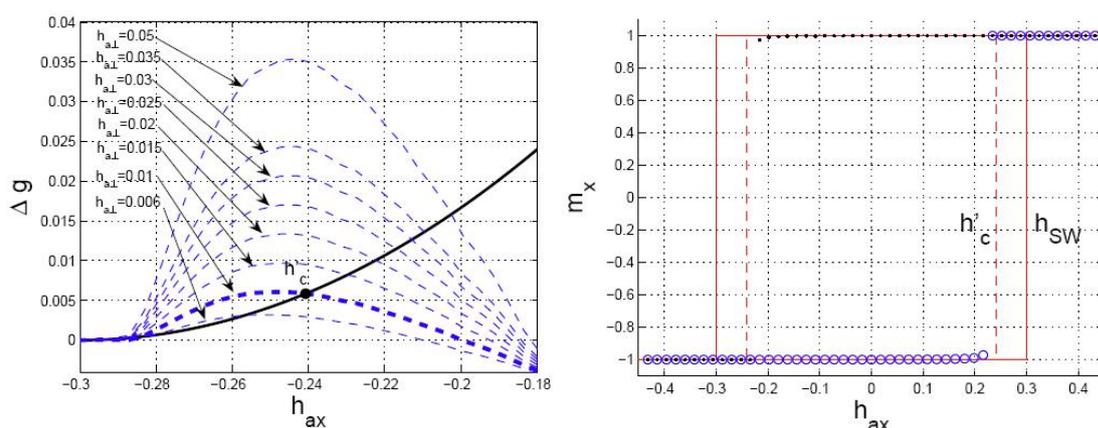


Fig. 1 (sinistra) la linea piena si riferisce alla barriera di potenziale di SW in funzione della componente di campo DC, le linee tratteggiate si riferiscono alla riduzione della barriera di potenziale dovuta al campo RF. Le intersezioni delle due curve (black dot) identificano il campo coercitivo ridotto della particella; (destra) cicli di isteresi calcolati numericamente; i cerchi sono relativi al ramo ascendente del ciclo, i punti a quello discendente. La linea rossa piena descrive il ciclo di isteresi in assenza di campo RF. Il campo di SW è 0.3, il campo coercitivo ridotto è circa 0.24, l'ampiezza del campo RF è 0.01 e la frequenza è 0.0923. Tutte le grandezze sono adimensionali.

Referenze

- [1] R.H. Koch, Phys. Rev. Lett. 84, 5419–5422 (2000); C. Thirion et al., Nature Mat. 2, 524 (2003)
- [2] G. Bertotti, et al. , Phys. Rev. Lett. 86, 724 (2001).
- [3] E. Ott, Chaos in dynamical systems, CUP 1994.
- [4] M. d'Aquino, C. Serpico, G. Bertotti, I.D. Mayergoyz, R. Bonin, "Nonlinear resonant and chaotic dynamics in microwave assisted magnetization switching", IEEE Transactions on Magnetics **45**, 3950 (2009).