

Váhová funkce Preisachova modelu pro feromagnetické látky

Jakub Eichler, Ing. Miroslav Novák Ph.D.

Abstrakt

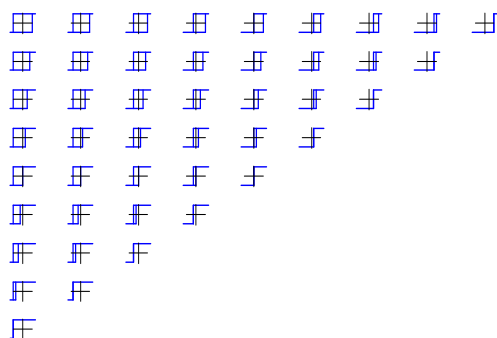
Cílem této práce bylo určit vhodný postup pro získání váhové funkce Preisachova modelu. V principu automatizované přímé určení ze sady experimentálních dat není úspěšné v důsledku dvou parciálních derivací. Daleko lepšího souhlasu s experimentem lze dosáhnout kombinací metody odhadu a optimální aproximace experimentu statistickými funkcemi.

Úvod

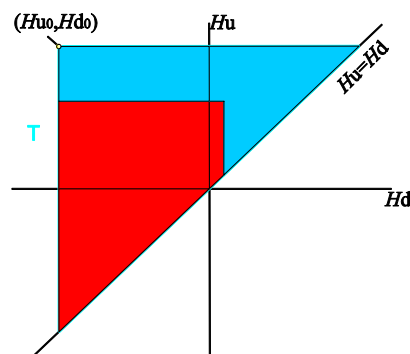
V technické praxi je nutné komplexní studium přechodných dějů transformátorů: zapínacího proudu, ferorezonance a podobně, při kterých magnetické obvody pracují v silně nelineární části materiálové charakteristiky. Pro studium těchto jevů je důležitý kvalitní počítačový model hystereze feromagnetických materiálů. Cílem této práce je realizovat takový model a najít metody nastavení jeho parametrů tak, aby byla co nejlepší shoda s provedenými experimenty. Po zvážení možností jednotlivých typů jsme dospěli k závěru, že nejvhodnější je Preisachův model [1]

Experiment a metody

Názorně lze Preisachův model popsat geometricky pomocí Preisachova trojúhelníku T , ve kterém jsou systematicky uspořádány hypotetické hysterony, jež mají pravoúhlou hysterezní smyčku a různé překlápěcí úrovně H_u „nahoru“ a H_d „dolů“, viz obrázek 1. Fyzikálně jim mohou zhruba odpovídat domény, tedy magnetické dipóly. Při růstu vnějšího magnetického pole od minima se vodorovná hranice překlopení pohybuje zezdola nahoru a při poklesu svislá hranice zprava doleva, viz obrázek 1, kde je situace v okamžiku poklesu. Červeně jsou označeny dipóly polarizované kladně, modré záporně. Výsledný magnetický moment pak součtem elementárních magnetických momentů.



Obrázek 1 Systematické uspořádání hyperonů



Obrázek 2 Polarizace při růstu a poklesu buzení

Matematicky lze Preisachův model pro magnetismus popsat vztahem pro magnetizaci $M(t)$

$$M(t) = \iint_{H_u \geq H_d} \varphi(H_u, H_d) \hat{m}(H_u, H_d) H(t) dH_u dH_d, \quad (1)$$

kde \hat{m} je operátor aplikovaný na budící pole $H(t)$, který převrací elementární dipóly nahoru nebo dolů. Klíčovým parametrem modelu je váhová funkce $\varphi(H_u, H_d)$, jež je jediným prvkem, který ovlivňuje výsledný tvar modelované hysterezní smyčky. Lze ji určit v principu buď systematicky

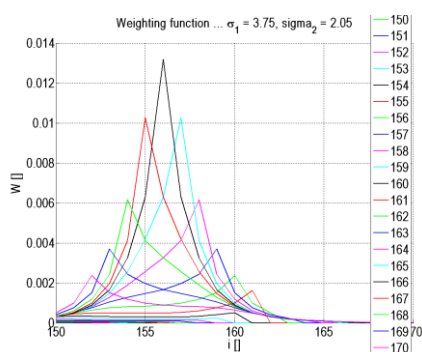
Rozšířený Abstrakt

ze sady speciálně naměřených dílčích smyček, nebo odhadem ze smyčky při maximálním buzení [2]. Zde se soustředíme na druhou metodu a pro aproximaci použijeme základní statistické funkce [3].

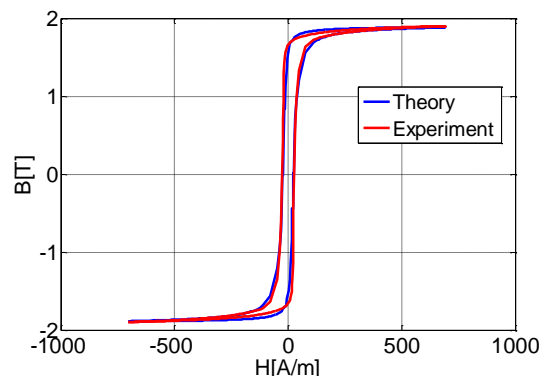
Výsledky a diskuze

Hlavní parametry váhové funkce (polohu maxima) jsme odhadli z experimentu. K aproximaci jsme použili součin dvou funkcí s Cauchyho hustotou pravděpodobnosti, podobně jako v práci [3], a jejich optimální parametry zjistili pomocí funkce *fminsearch* v MATLABu.

Nalezená váhová funkce vykazuje ostré maximum, několik řezů v blízkosti maxima je na obrázku 3. Detailní průběh na obrázku 3 je poněkud zalomený a přitom celá funkce má celkem 321 bodů. To potvrzuje ostré maximum, které se posouvá po výšce trojúhelníku na obrázku 1.



Obrázek 3 Detail váhové funkce



Obrázek 4 Porovnání experimentu a modelu

Z obrázku 4 je vidět dobrá shoda modelu s experimentem, jedná se o nejlepší výsledek aproximace po několika pokusech. V detailu je u teoretického průběhu vidět zalomení, což je způsobeno nepřesností váhové funkce podle obrázku 3. Metoda je podobná té, kterou užívá práce [3]. Souhlas s experimentem je dokonce lepší, ale nejde o přesně stejné materiály.

Důležitým výsledkem je analytický tvar váhové funkce, což umožňuje provádět výpočty s vysokou přesností a pro velký počet bodů, ale za cenu rostoucí doby výpočtu. Další výhodou tohoto přístupu je to, že stačí naměřit pouze smyčku pro maximální buzení, ovšem přesnost pro jiné smyčky získané při specifickém nebo slabším buzení může být menší.

Závěr

Při určování váhové funkce metodu pokus-omyl jsme pro hysterezní smyčku blízko pravoúhlé určili váhovou funkcí tak, že umožňuje praktickou aplikaci Preischova modelu např. pro studium přechodných jevů. Pro jiné typy smyček se však tak dobré shody zatím dosáhnout nepodařilo. To je nevýhoda použité metody před systematickým postupem.

Poděkování

Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS) na Technické univerzitě v Liberci v roce 2015.

Reference

- [1] Bertot G. and Mayergoz I.: The science of hysteresis. Vol. 1, 2 and 3. Elsevier, 2006. ISBN 978-0--2-369431-7
- [2] Eichler J.: Modelování a měření hysterezních smyček feromagnetik za různých podmínek buzení. Diplomová práce, TU v Liberci, 2015.
- [3] Pruksanubal P., Binner A. and Gonschorek K. H.: Determination of distribution functions and parameters for the Preisach hysteresis model. 17th International Zurich symposium on electromagnetic compatibility, 2006, pp. 258 – 261.