FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 1999. március 19-20.

Dinamikus hiszterézismodellek áramkörszámításban

Füzi János

Abstract – A computationally efficient dynamic generalization of the classical Preisach model of hysteresis is proposed to encompass the effects of eddy currents and domain wall motion in silicon iron laminations. Electrical circuit analysis is performed considering dynamic hysteresis in coil cores.

1. Számíthatékony dinamikus hiszterézismodell

A klasszikus Preisach modell [1] gyors és viszonylag memóriatakarékos hiszterézismodell, de alapvetően statikus, dinamikus általánosítása az elemi operátorok jellemzőinek módosításán alapul [2]. Ez azonban az Everett integrál használatát lehetetlenné teszi, emiatt a modell sokkal lassúbbá és memóriagényesebbé válik.

Vasmagos tekercseket tartalmazó áramkörök tanulmányozásához [3, 4] szükség van egy hatékony dinamikus hiszterézismodellre, amely leírja az illető vasmag viselkedését a költséges (lassú, nagy memóriagényű és a rendezett szemcséjű vékony lemezek esetében nem is elég pontos) örvényáramszámítás nélkül, lehetőleg a klasszikus Preisach modell már említett számítási előnyeinek megtartásával.

Elég jó kompromisszum valósítható meg egy új változó (H_m – a klasszikus Preisach modell bemeneti mennyisége) bevezetésével, amelyet az

$$\frac{dH_m}{dt} = a(H - H_m) - b \frac{dB}{dt} + c \frac{dH}{dt} \quad (1)$$

egyenlet vezérel és kapcsol össze a tényleges mágneses mennyiségekkel (H – térerősség a vasmag felszínén, B – átlagos fluxussűrűség a vasmagban) [5]. Az a , b és c modellparamétereket a kiszámított jelleggörbéknek a vasmagon mért dinamikus mágnesezési görbékhez való illesztésével határozhatjuk meg. Minél szélesebb frekvencia- illetve indukció amplitúdósávra érvényes az illesztés, annál valószínűbb, hogy a modell tetszőleges bemenőjel esetén is helyesen működik. Az (1) egyenlet a térerősség kiszámítására használható, ha a fluxussűrűség adott. Amennyiben a térerősség adott, az

$$\frac{dH_m}{dt} = \frac{a(H - H_m) + (c - \mu_0 b) \frac{dH}{dt}}{1 + \mu_0 b \frac{dM}{dH_m}} \quad (2)$$

egyenlet használandó, amelyben a dM / dH_m tagot a klasszikus Preisach modell adja.

2. A modell kísérleti felépítése

Adott vasmagra vagy vasmaglemezre az Everett felület kísérletileg meghatározható a határhurokról visszatérő hiszterézisgörbék kis frekvencián (1 Hz) történő mérésével [6]. A STABOCOR 250-50 A - EBG típusú lemezre mért Everett felület az 1. ábrán látható.

1. ábra STABOCOR 250-50 A - EBG vasmaglemez Everett felülete

A dinamikus modell paramétereit úgy lehet meghatározni, hogy több frekvencián és fluxussűrűség-amplitúdóra mért dinamikus mágnesezési hurkok térerősség és indukcióértékeit, illetve a mért indukciót adó statikus modellbemenőértékeket (H_m) behelyettesítjük az (1) egyenletbe és az adódó hibák négyzetösszegét minimizáljuk. Az $a = 4000 \text{ s}^{-1}$; $b = 300 \text{ m/H}$; $c = 1$ paraméterértékek a vizsgált lemezre a 2. ábrán megfigyelhető pontosságot adják a 0 – 250 Hz-es frekvenciasávban.

fluxusellenőrzéssel számítva

térerősségellenőrzéssel számítva

2. ábra Dinamikus mágnesezési jelleggörbék $f = 100 \text{ Hz}$ frekvencián (meas. – mért, st. – statikus, eddy c. – örvényáramszimulációval számított, comp. – dinamikus modellel számított).

A mért indukciót, illetve térerősséget tekintve adottnak, a bemutatott modell mindkét esetben kielégítő eredményt ad, míg az örvényáramszámítás e nem rendezett szemcséjű lemez esetében is részben hibás eredményre vezet (mivel a doménfalak mozgását nem veszi figyelembe).

3. Áramkörszimuláció hiszterézis figyelembevételével

Egy transzformátor, $w_1 = 400$ menetszámú és $R_1 = 2 \Omega$ ellenállású primer, illetve $w_2 = 100$ menetszámú és $R_2 = 0.2 \Omega$; ellenállású szekunder tekercsei $S = 500 \text{ mm}^2$ keresztmetszetű és $l = 200 \text{ mm}$ középhosszúságú vasmagon helyezkednek el. A transzformátort $U_0 = 40 \text{ V}$ amplitúdójú szinuszos feszültségforrás táplálja $f = 100 \text{ Hz}$ frekvencián. A szekunderkörben egy $R_s = 5 \Omega$ értékű terhelőellenállás és egy egyenirányító dióda van. A transzformátor működésének a bekapcsolást követő első 50 periódusát a 3. ábrán követhetjük.

3. ábra A transzformátor vasmagjának mágnesezési görbéje, illetve a primer- és szekunderáram, térerősség a vasmagfelületen és fluxus a vasmagban időbeli változása (minden hetedik periódus ábrázolva).

Az áramköregyenletekben:

$$\text{a dióda vezet: } \begin{cases} \frac{di_1}{dt} = \frac{1}{L_{\sigma 1}} \left(u(t) - R_1 i_1 - w_1 \frac{d\varphi}{dt} \right) \\ \frac{di_2}{dt} = \frac{1}{L_{\sigma 2}} \left(-(R_2 + R_s) i_2 - w_2 \frac{d\varphi}{dt} \right) \end{cases} ; \quad u_d = 0 ; \quad i_2 > 0 , \quad (3)$$

$$\text{a dióda nem vezet: } \begin{cases} \frac{di_1}{dt} = \frac{1}{L_{\sigma 1}} \left(u(t) - R_1 i_1 - w_1 \frac{d\varphi}{dt} \right) \\ u_d = -w_2 \frac{d\varphi}{dt} \end{cases} ; \quad i_2 = 0 ; \quad u_d < 0 , \quad (4)$$

a két áramderivált implicit módon a fluxusderiváltban is szerepel, mivel a vasmag gerjesztőterét a:

$$H(t) = \frac{w_1 i_1(t) + w_2 i_2(t)}{l} \quad (5)$$

összefüggés adja. Ezért a numerikus számítási eljárás stabilitásához olyan prediktor-korrektor módszerre van szükség, amely a (3) rendszer mindkét egyenletének minimális hibátényező melletti teljesülését egyidejűleg biztosítja.

A bemutatott modell (figyelembe veszi mind az örvényáramok, mind a doménfaldinamika hatását a vasmag belsejében) használata gyorsabb, stabilabb és bizonyos körülmények között pontosabb számításokat tesz lehetővé, mint az örvényáramszimuláció a vasmagban.

Irodalomjegyzék

1. Mayergoyz I.D.: Mathematical Models of Hysteresis, Springer Verl., New York, 1991.
2. G. Bertotti: Dynamic Generalization of the Scalar Preisach Model of Hysteresis, IEEE Magn. Vol.28, No.5, 1992, pp 2599-2601.
3. Füzi J.: Electrical Circuit Analysis Considering Hysteresis in Coil Cores. Proc. 14th Annual Review of Progress in Applied Computational Electromagnetics - ACES'98 Monterey, 1998, pp. 291-296.
4. Füzi J.: Dynamic Operation of Coils with Ferromagnetic Cores Taking Magnetic Hysteresis into Account. Applied Computational Electromagnetics Society Journal, Monterey USA - 1997, vol.12, no.2, pp.96-101.
5. Füzi J.: Computationally Efficient Rate Dependent Hysteresis Model. Proc. of the 8th IGTE Symposium on Numerical Field Calculation in Electrical Engineering, Graz - 1998, Part II, pp. 397-402.
6. Füzi J., Székely Gy., Szabó Zs.: Experimental Construction of Classical Preisach Model. Proc. of the 8th IGTE Symposium, Graz - 1998, Part II, pp. 452-457.

Dr. Füzi János, egyetemi docens

Transilvania Egyetem, Villamosmérnöki Kar, Politehnicii 1-3, 2200 Brassó, Románia

Tel. & Fax: +40 68 143116; E_mail: fuzi@leda.unitbv.ro

“Bolyai János” ösztöndíjas

Budapesti Műszaki Egyetem, Elméleti Villamosságtan Tanszék, H-1521 Budapest, Magyarország

Fax: +36 1 463 3189; E_mail: fuzi@evtsz.bme.hu