FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2000. március 24-25.

A KLASSZIKUS PREISACH MODELL VEKTORIÁLIS ÁLTALÁNOSÍTÁSA

Füzi János

Summary – A vector generalization of the classical Preisach model is proposed to describe the static 2D vector magnetic behaviour of isotropic – non-oriented – silicon iron steel sheets. A theoretical magnetic particle, endowed with orientation in the sheet's plane is introduced to depict the relationship between the field strength vector at the surface of the sheet and space-averaged magnetization vector through its cross-section. The magnitude of magnetization is governed by a classical Preisach operator. Its input is the projection of the field strength vector on the magnetization direction, while its orientation is determined by the equilibrium between the field strength orientation and a friction-like resistive torque which simulates the tendency of magnetization to lag behind the field strength variation. The behaviour of the model is studied in various conditions and the results compared to experiments reported in literature.

1. Bevezetés

A ferromágneses anyagok viselkedése igen bonyolult. Az egyik legjellemzőbb tulajdonság a mágnesezettség változásának lemaradása a mágneses térerősség változása mögött (histerézis). Ennek következtében még a mágneses szempontból izotróp (lemágnesezett állapotban minden irányban ugyanolyan tulajdonságokkal rendelkező) anyagok is, ha bizonyos irányú (előző mágnesezési folyamatból származó) remanens mágnesezettséggel rendelkeznek, az ettől eltérő irányokban már nem mutatnak azonos tulajdonságokat. Ezért jellemzésükhöz vektoriális histerézismodellre van szükség.

A klasszikus Preisach model [1] hatékonyan leírja a skaláris histerézissel jellemezhető folyamatokat (amelyekben a térerősség és mágnesezettség vektorok mindvégig párhuzamosak – például gyűrű alakú lemezekből álló, egyenletesen tekercselt vasmagokban, vagy végtelen lemezekben, ezek síkjával párhuzamos, állandó irányú gerjesztés esetén). Elektromágneses térszámítással összekapcsolva pontos örvényáramszámítás végezhető izotróp ferromágneses közegekben [2]. Skaláris Preisach részecskékkel helyettesítve a mágneses anyag doménszerkezetét (ezáltal egyszerűsítve a feladatot, mégis figyelembe véve a doménszerkezet makroszkópikus hatását) számos mérnöki feladat megoldására hatékony numerikus eszköz készíthető [3 - 5].

Az általánosabb, vektoriális esetben a térerősség és magnetizáció vektorok izotróp anyagokban sem párhuzamosak a remanencia miatt (mágneses múlt által indukált anizotrópia).

2. A modell leírása

Egy, forgó villamosgépek gyártásánál használt, izotróp vasmaglemez (0.5 mm vastag STABOCOR 250-50 A) Everett felülete [1] látható az 1. ábrán (ez a lemez a gyártási technológia miatt bizonyos mértékben anizotróp, de ettől itt eltekintünk), ahol $\alpha = H / H_S$ növekvő H , $\beta = H / H_S$ csökkenő H esetén, $H_S = 674$ A/m, valamint a mágnesezési modell analitikus kiterjesztése nagyobb térerősségtértékekre:

$$B(H) = \begin{cases} \mu_0(M_S + H) + m \tan^{-1}[k(H - H_S)]; & H > H_S \\ \mu_0(M_S + H) + m \tan^{-1}[k(H + H_S)]; & H < -H_S \end{cases} \quad (1)$$

ahol $m = 0.29$ T ; $k = 0.42 \cdot 10^{-3}$ m/A ; $\mu_0 M_S = 1.457$ T.

1. ábra. A STABOCOR 250-50 A lemez Everett felülete és modelljének analitikus kiterjesztése.

A vektormodell felépítéséhez egy vektoriális Preisach részecskét értelmezünk (2. ábra), mely irányított hiszterézisoperátorokból áll. Az egyes operátorok mágnesezettségének nagyságát a klasszikus Preisach modell adja, a mágneses térerősségnek az illető operátor irányára eső vetületét használva bemeneti mennyiségként. A térerősség és az adott operátor mágnesezettsége közötti szöget a mágnesezettséget a térerősség irányába forgatni igyekvő $H \times M$ nyomaték és egy súrlódásszerű, M^2 -tel arányos (főként a doménfalak letapadásának betudható [6]), ellenálló nyomaték egyensúlya határozza meg:

$$|HM \sin \theta_{hm}| \leq \xi M^2. \quad (2)$$

A mágnesezettség iránya egy súrlódásszerű mechanizmus szerint áll be (akkor változik, ha az aktív nyomaték legyőzi az ellenálló nyomatékot):

$$|\sin \theta_{hm}| \leq \xi \frac{M}{H} \quad (3)$$

A különböző operátorok ξ súrlódási együtthatója különböző lehet és az egyes operátorok kimeneti mennyiségének súlyozott közepe adja a részecske mágnesezettség vektorát. A súrlódási együtthatók és a súlyok meghatározását kétdimenziós mágneses mérések tehetik lehetővé. Itt feltételezett értékeket adunk az illető együtthatóknak.

A bevezetett vektoriális részecske n operátorból áll, kimenetük nagyságát a klasszikus Preisach modell adja, $H_m = H \cos \theta_{hm}$ bemenetre, irányításukat pedig a:

2. ábra. Térerősség és mágneszettség vektorok.

$$|\sin \theta_{hm}| \leq \xi_k \frac{|M_k|}{M_s} \frac{H_s}{|H|}; \quad k = \overline{0, n}, \quad (4)$$

összefüggés vezérli. A feltételezett súrlódási együtthatók:

$$\xi_k = 0.2 \frac{k}{n}; \quad k = \overline{0, n}. \quad (5)$$

A részecske eredő mágneszettsége:

$$\mathbf{M} = \sum_{k=0}^n \zeta_k \mathbf{M}_k, \quad (6)$$

ahol a feltételezett súlyok:

$$\zeta_k = 2 \frac{k+1}{(n+1)(n+2)}; \quad k = \overline{0, n}; \quad \sum_{k=0}^n \zeta_k = 1. \quad (7)$$

3. Számítási eredmények

Forgó mágnesezési folyamatok szimulációs eredményei láthatók a 3.a-e ábrán. Előbb a lemezt x irányban szaturációig mágnesezzük, majd a térerősséget bizonyos értékig csökkentjük, ezután ezt az értéket állandóan tartva lassan forgatjuk. A mágneszettség térerősséghez viszonyított lemaradási szögét a két vektor csúcsait összekötő vékony vonalak szemléltetik. A kapott eredmények hasonlóak a szakirodalomban található kísérleti eredményekhez [7]. Az x irányú szaturációt majd a térerősség nullára csökkentését követő y irányú mágnesezési folyamat látható a 3.f ábrán (mágnesesen indukált anizotrópia).

4. Következtetések

Egy egyszerű vektor hiszterézismodell építhető a klasszikus Preisach modell és a mágneszettségvektor elfordulását szabályozó súrlódásszerű mechanizmus segítségével. A modell viselkedése hasonló a kísérleti eredményekhez. Előnyei a viszonylag egyszerű numerikus implementáció és az alacsony gép-
idő- és memóriaszükséglet.

Irodalomjegyzék

1. I.D.Mayergoyz, *Mathematical Models of Hysteresis*. Springer, New York, 1991.
2. R.M. Del Vecchio: Computation of Losses in Nonoriented Electrical Steels from a Classical Point of View, *Journal of Applied Physics* **53** (1982) 8281 - 8286.
3. J. Füzi: Computationally Efficient Rate Dependent Hysteresis Model, *COMPEL*, **13** (1999) 445-457.
4. J. Füzi: Electrical Circuit Analysis Considering Hysteresis in Coil Cores, Proc. 14th Ann. Rev. of Progr. in Appl. Comp. Electromagn. - *ACES* (1998) 291 - 296.
5. G. Bertotti: Dynamic Generalization of the Scalar Preisach Model of Hysteresis, *IEEE Trans. on Magnetics*, **28** (1992) 2599 - 2601.
6. A.J. Bergqvist: Magnetic Vector Hysteresis Model with Dry Friction-Like Pinning, *Physica B*, 1997.
7. S.H. Charap, A. Ktena: Vector Preisach Modeling, *Journal of Applied Physics* **73** (1993) 5818 - 5823.

3. ábra. Különböző mágnesezési folyamatok szimulációja.

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 (BO/00920/98 – Magyar Tudományos Akadémia)

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Elméleti Villamosságtan Tanszék,

H-1521 Budapest, Magyarország; Fax: +36 1 463 3189; E_mail: fuzi@evtsz.bme.hu