

Válasz opponensi bírálatra

Opponens: Dr. Vértesi Gábor, az MTA doktora

Mindenekelőtt köszönetemet szeretném kifejezni Dr. Vértesi Gábor úrnak az MTA Doktora cím elnyerésére benyújtott munkám részletes és körültekintő bírálatáért. Alábbiakban találhatók a bírálatban feltett kérdésekre, illetve megjegyzésekre adott válaszaim.

Kérdések, észrevételek:

1. 3.3 fejezet: A szerző a Lorentz és a Gauss típusú egydimenziós eloszlásokat tárgyalja, illetve hasonlítja össze. Az 1. és 2. táblázatban megadja az eloszlás paramétereit a kétféle esetre. Mint látható, jelentős különbség adódik a kétféle eloszlás esetén. Ugyanakkor a 22. ábrán összehasonlítja a számított és a mért hiszterézis görbéket a Lorentz és a Gauss eloszlás esetén. A két görbesereg (22/a és 22/b ábra) jószérivel nem megkülönböztethető egymástól. Jó lett volna, ha a szerző értelmezi ezt a valódi vagy látszólagos ellentmondást.

Az értekezésben a Gauss alakú eloszlásokból álló egydimenziós Preisach függvény a következő alakú

$$\varphi(x) = \sum_{i=1}^n a_i e^{-\left(\frac{x-b_i}{c_i}\right)^2},$$

a Lorentz típusú eloszlások esetén pedig

$$\varphi(x) = \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{1 + \left(\frac{x-b_i}{c_i}\right)^2}.$$

A B_A1. ábra a két eloszlástípus összehasonlítását szemlélteti. A piros színű görbével ábrázolt Gauss típusú eloszlás paramétereit $a_G = 2$, $b_G = 5$ és $c_G = 0.6$. A B_A1.a ábrán látható Lorentz típusú eloszlás (kék színű görbe) két paraméterét hasonlóan választottam, mint a Gauss eloszlását ($a_L = 2$, $b_L = 5$), a harmadik paramétert pedig görbeillesztéssel határoztam meg és $c_L = 0.38$ adódott. Az ábrán jól megfigyelhető, hogy a két eloszlást nem lehet pontosan egymásra illeszteni, a Lorentz jobban szétterül az x tengelyen, mint a Gauss eloszlás.

a_L	c_L
157	0.36
0.63	0.36

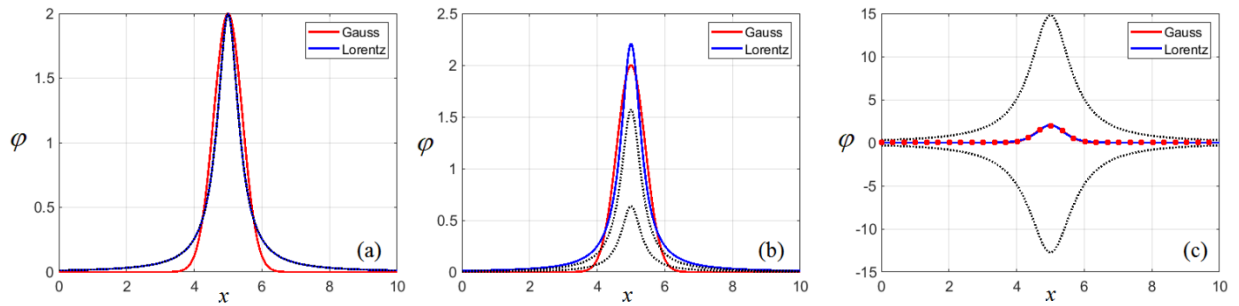
Táblázat B_1 A pozitív amplitúdójú Lorentz eloszlások paramétereit.

a_L	c_L
14.79	0.72
-12.73	0.78

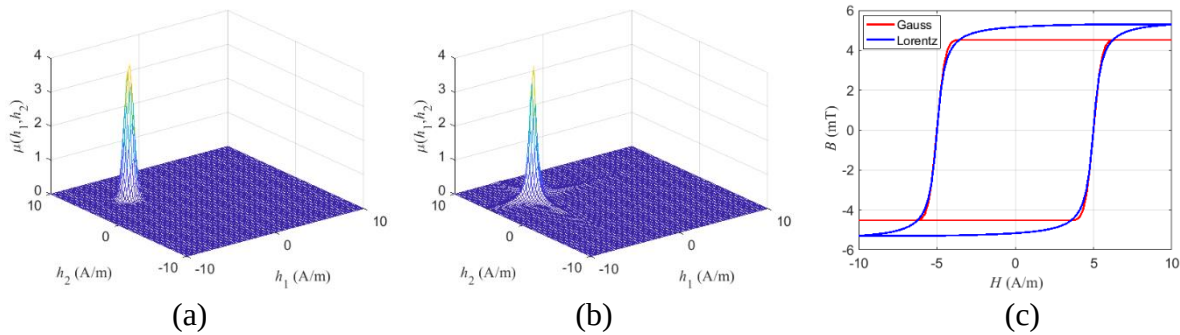
Táblázat B_2 Az ellenkező előjelű Lorentz eloszlások paramétereit.

A B_A1.b ábra esetén a Gauss eloszlást két pozitív amplitúdójú Lorentz eloszlással illesztetem (lásd a fekete színű szaggatott vonallal jelölt görbék), amelyeknek a paramétereit a B_1 táblázat tartalmazza. A közelítés nem lényegesen jobb, mint az egy Lorentz taggal történő illesztés esetén, és további pozitív amplitúdójú tagok hozzáadása sem vezet érdemi javuláshoz. A B_A1.c ábrán a Gauss eloszlást egy pozitív és egy negatív amplitúdójú Lorentz eloszlással illesztetem, amelyek paramétereit B_2 táblázat tartalmazza. Az illesztés nagyon jó, a két Lorentz alakú tag különbségeként kapott egydimenziós függvény gyakorlatilag megkülönböztethetetlen a Gauss eloszlástól, azonban a paraméterek összehasonlítása alapján ez nem nyilvánvaló.

A B_A2. ábrán az egy tagból álló Gauss és Lorentz eloszlásokból számított kétdimenziós Preisach függvények és a nekik megfelelő külső koncentrikus histerézis görbék láthatók. Megfigyelhető, hogy a két histerézis hurok koercitív tere megegyezik. Mivel a Lorentz eloszlás jobban szétterül az x tengelyen, mint a Gauss eloszlás ezért a Lorentz eloszlásból számított histerézis görbe íveltebb a telítés közelében.



B_A1. ábra A Gauss és a Lorentz eloszlások összehasonlítása. A Gauss eloszlás illesztése egy Lorentz eloszlással (a), két pozitív amplitúdójú Lorentz eloszlással (b), valamint egy pozitív és egy negatív amplitúdójú Lorentz eloszlással.

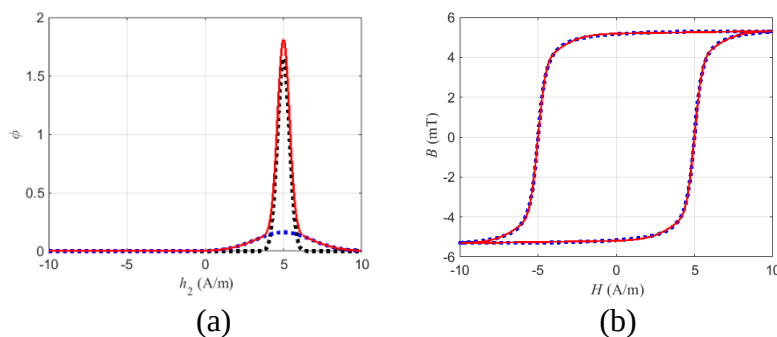


B_A2. ábra A Gauss és az egy tagból álló Lorentz eloszlásokból számított kétdimenziós Preisach függvények (a) és (b) valamint a nekik megfelelő külső koncentrikus histerézis görbék (c).

A B_A3. ábra a Lorentz eloszlásnak megfelelő histerézis görbe illesztését szemlélteti Gauss alakú függvényekkel. Az egydimenziós Preisach függvényt két Gauss eloszlással közelítve, amelyeknek a paramétereit a B_3 táblázat tartalmazza, jó egyezést kapunk a histerézis görbék között. Ezek a számítások is bizonyítják, hogy különböző típusú Preisach függvények hasonló pontossággal írhatnak le histerézis görbéket.

a_G	c_G
1.65	0.53
0.16	2.51

Táblázat B_3 A Gauss eloszlásokból álló Preisach függvény paraméterei. Mindkét eloszlás esetén $b_G = 5$ A/m.



B_A3 A Lorentz eloszlásnak megfelelő histerézis görbe illesztése Gauss alakú függvényekkel. A két Gauss tagból álló Preisach függvény (a) és a histerézis görbék összehasonlítása (b).

A értekezés 1. és 2. táblázatai nemcsak a Preisach függvény paramétereit, hanem a reverzibilis komponensek értékeit is tartalmazzák, ez megnehezítheti értelmezésüket. A könnyebb áttekinthetőség érdekében a Preisach függvény paramétereit célszerűbb lett volna az egyes tagok amplitúdója alapján rendezni és például a B_4 és B_5 táblázatok alakjában megadni.

a_i	b_i	c_i
1.806×10^{-2}	56.532	14.2
2.827×10^{-3}	87.278	86.71
1.783×10^{-4}	264.71	551.7

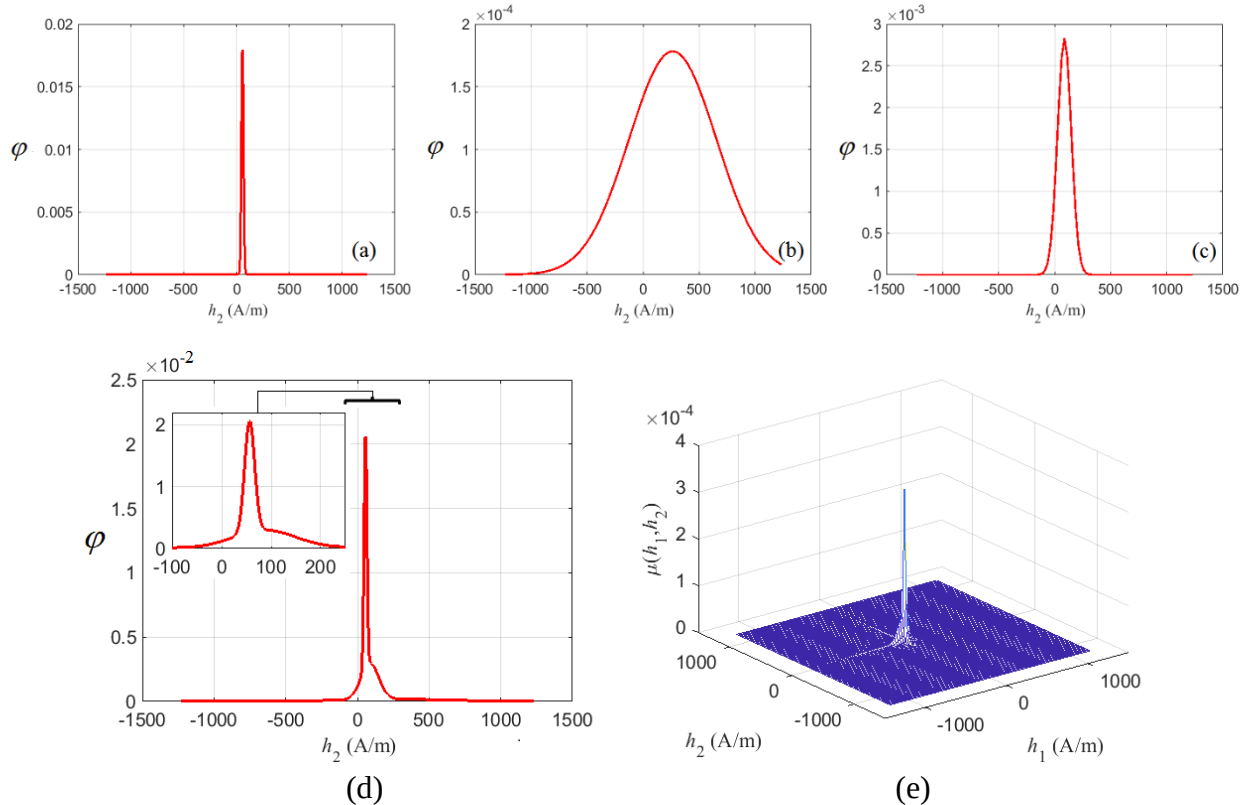
Táblázat B_4 A Gauss eloszlást alkalmazó Preisach függvény paraméterei. A modell reverzibilis komponensének paraméterei $k_1 = 1.018 \times 10^{-4}$, $k_2 = 0.3217$ és $k_3 = 337.59$.

a_i	b_i	c_i
2.279×10^{-2}	57.787	8.6972
2.04×10^{-3}	96.291	75.888
$5.031 \cdot 10^{-4}$	2097.1	260.58

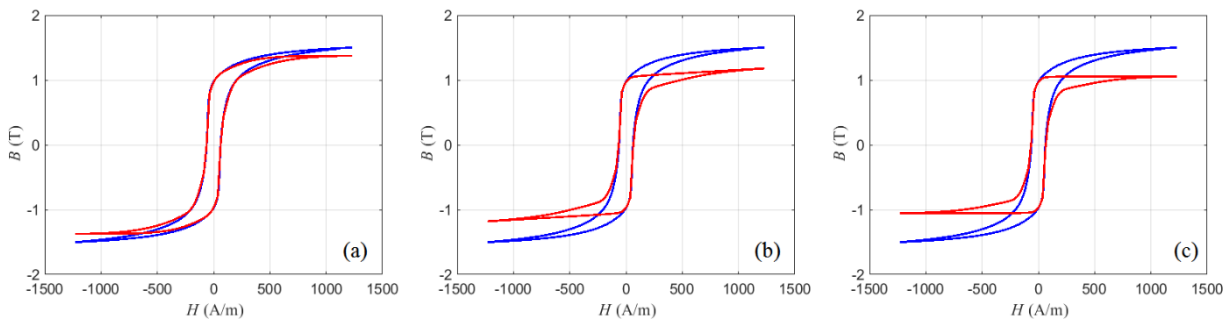
Táblázat B_5 A Lorentz eloszlást alkalmazó Preisach függvény paraméterei. A modell reverzibilis komponensének paraméterei $k_1 = 8.926 \times 10^{-5}$, $k_2 = 0.308$ és $k_3 = 413.24$.

A továbbiakban, ábrázolom az értekezés 1. és 2. táblázataiban levő adatokkal megadott egydimenziós és kétdimenziós Preisach függvényeket, majd megvizsgálom az egyes komponensek hatását az illesztés pontosságára.

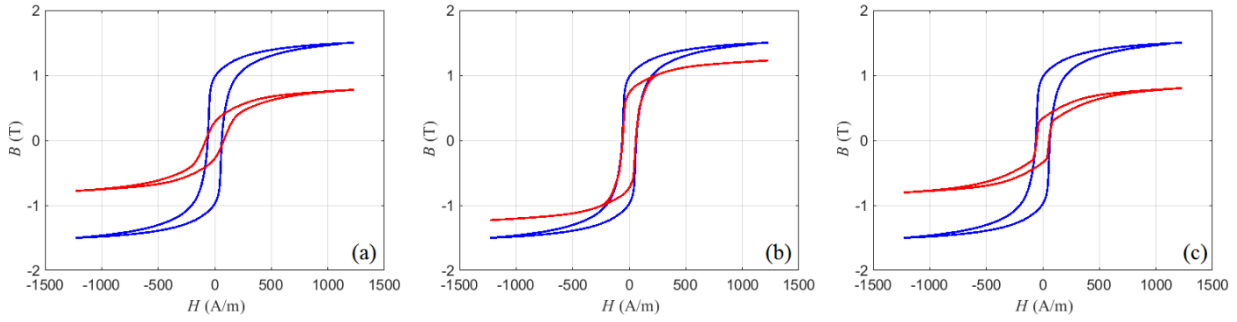
A B_A4. ábra az értekezés 1. táblázatában megadott paraméterekkel rendelkező Gauss eloszlásokat mutatja, valamint azok szuperpozíciójaként előállított egydimenziós és kétdimenziós Preisach függvényt. A B_A5. ábra a reverzibilis komponensek hatását, a B_A6. ábra pedig a Preisach függvény egyes komponenseinek a hatását szemlélteti. Az ábrákon megfigyelhető, hogy a modell minden egyes komponensének megvan a szerepe az illesztés során.



B_A4. ábra Az értekezés 1. táblázatának Gauss eloszlásait az (a), (b) és (c) ábrák szemléltetik. A szuperpozíciójaként előállított egydimenziós Preisach függvény a (d), míg a kétdimenziós Preisach függvény a (e) ábrán látható.

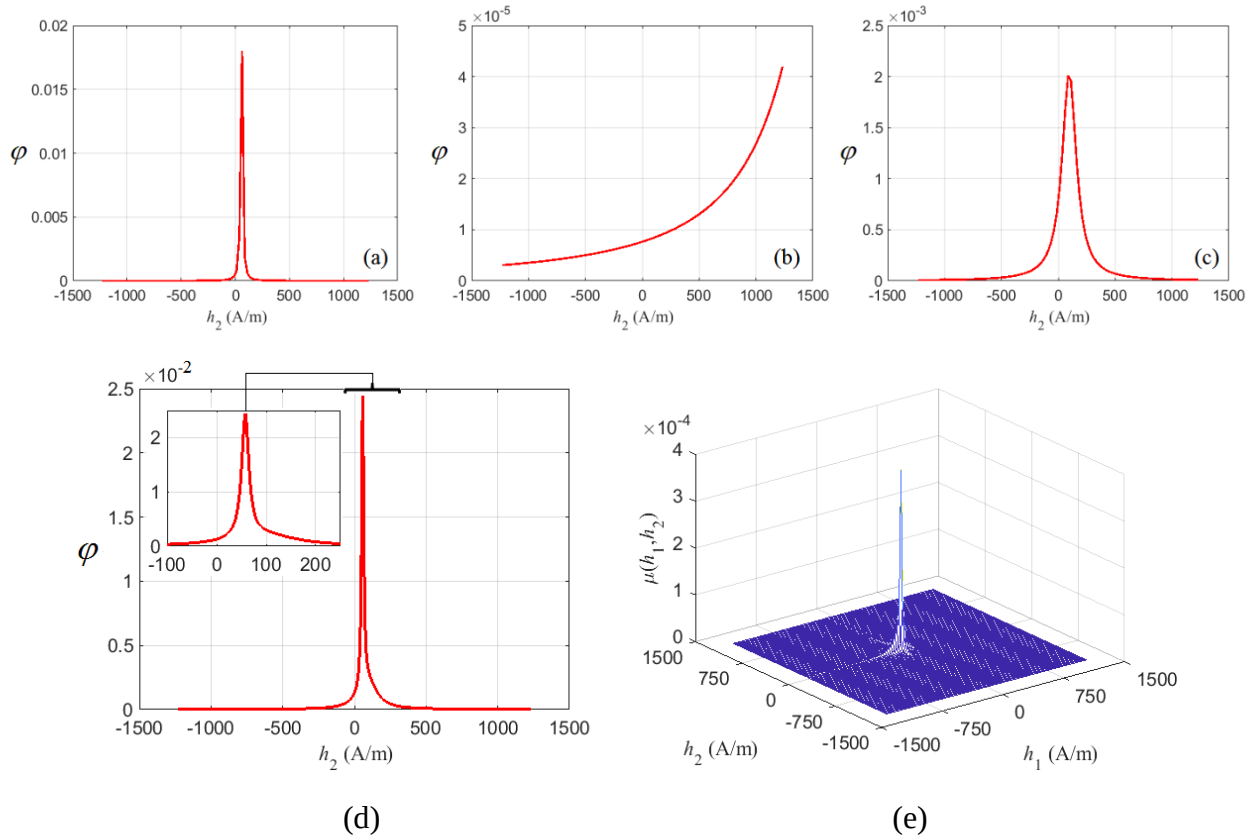


B_A5. ábra A reverzibilis komponensek hatása. A mért és szimulált histerézis görbék összehasonlítása $k_1 = 0$ (a), $k_2 = 0$ (b), valamint $k_1 = 0$ és $k_2 = 0$ esetén (c).

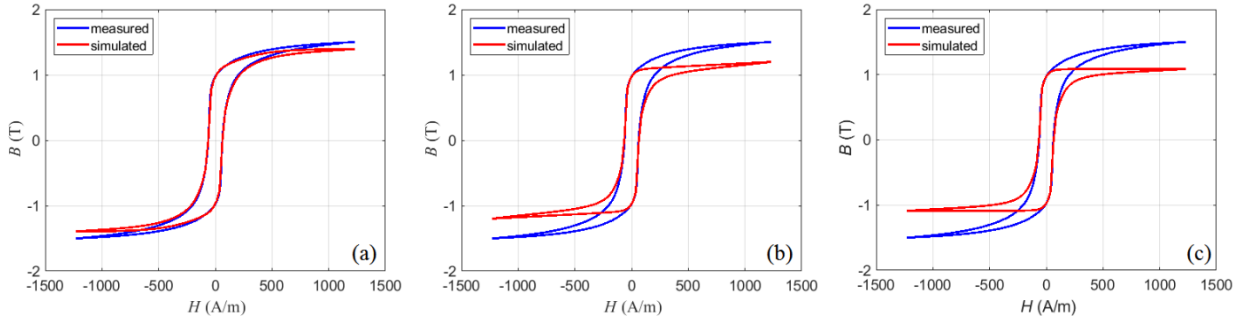


B_A6. ábra Az 1. táblázat Gauss eloszlásainak a hatása az illesztés pontosságára. A mért és szimulált hiszterézis görbék összehasonlítása $a_1 = 0$ (a), $a_2 = 0$ (b) és $a_3 = 0$ (c) esetén.

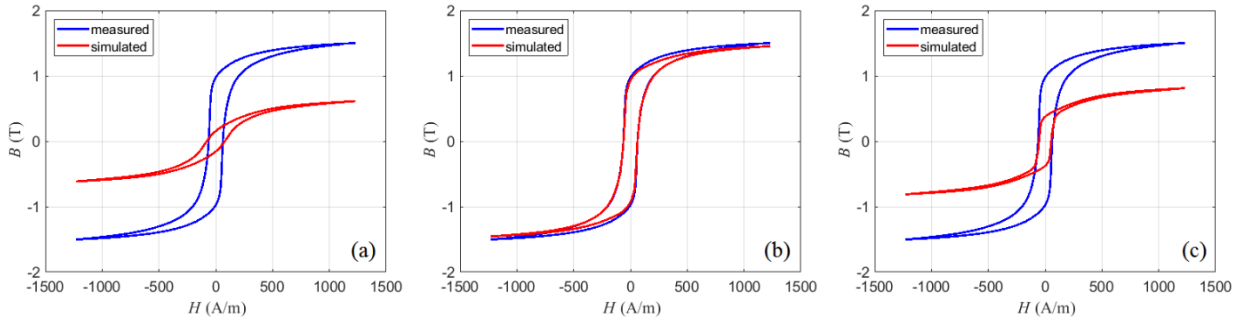
A B_A7. ábra az értekezés 2. táblázatában megadott paraméterekkel rendelkező Lorentz eloszlásokat mutatja, valamint azok szuperpozíciójaként előállított egydimenziós és kétdimenziós Preisach függvényt. A B_A8. ábra a reverzibilis komponensek hatását, a B_A9. ábra pedig a Preisach függvény egyes komponenseinek a hatását szemlélteti.



B_A7. ábra Az értekezés 2. táblázatának Lorentz eloszlásait az (a), (b) és (c) ábrák szemléltetik. A szuperpozíciójaként előállított egydimenziós Preisach függvény a (d), míg a kétdimenziós Preisach függvény a (e) ábrán látható.



B_A8. ábra A reverzibilis komponensek hatása a Lorentz eloszlást alkalmazó Preisach modell esetén. A mért és szimulált hiszterézis görbék összehasonlítása $k_1 = 0$ (a), $k_2 = 0$ (b), valamint $k_1 = 0$ és $k_2 = 0$ esetén (c).

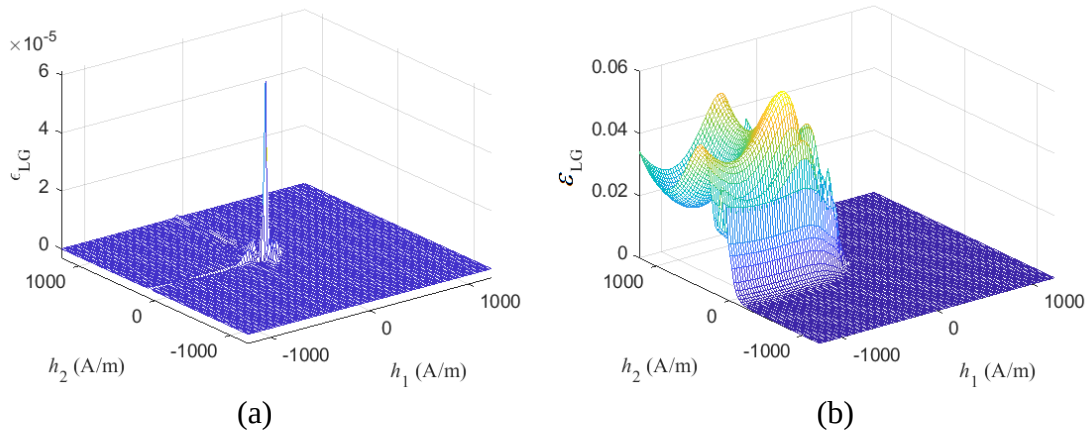


B_A9. ábra A 2. táblázat Lorentz eloszlásainak a hatása az illesztés pontosságára. A mért és szimulált hiszterézis görbék összehasonlítása $a_1 = 0$ (a), $a_2 = 0$ (b) és $a_3 = 0$ (c) esetén.

Összehasonlítva a Gauss és a Lorentz eloszlásokból felépített egydimenziós Preisach függvényeket (lásd B_A4.d és B_A7.d ábrákat) megfigyelhető, hogy azok hasonlóak, de nem teljesen egyformák. A B_A7.b ábra Lorentz eloszlásának a hatása csekély (lásd a B_A9.b ábrát), azonban az illesztés pontosságának a kismértékű csökkentése nélkül nem sikerült ezt a tagot sem elhanyagolni, és hatását a másik két Lorentz eloszlás paramétereinek módosításával kompenzálni. Több illesztést végezve, megfigyelhető volt, hogy ennek a tagnak a $b = 2097.1$ A/m értékű paramétere nagy értékek között változott az illesztés pontosságának érdemi befolyásolása nélkül és valószínű hogy ez a tag akár egy további lineáris komponens hozzáadásával is helyettesíthető.

A B_A10.a ábrán a két eloszlástípusnak megfelelő kétdimenziós Preisach függvények közötti különbség, a B_A10.b ábrán az Everett függvények közötti különbség látható. A köztük levő eltérés nem számottevő, azonban ahogy az értekezés 22. ábráján megfigyelhető a belső hurkokat nem teljesen egyformán közelítik a Gauss vagy a Lorentz eloszlásokat használó modellek.

A paraméterek hatásának vizsgálata megmutatta, hogy a hiszterézis görbék illesztésének pontosságát a reverzibilis rész és a nemlineáris összetevő egyaránt befolyásolják. A Preisach függvény és a reverzibilis modell paraméterei egymást kompenzálhatják, ami megkönnyíti az illesztés elvégzését, azonban megnehezítheti a paraméterek értelmezését.



B_A10. ábra A két eloszlástípusnak megfelelő kétdimenziós Preisach függvények közötti különbség (a), valamint az Everett függvények közötti különbség (b).

2. 20. ábra Hogyan lehetséges, hogy egy teljesen simának látszó függvény (20/b ábra) numerikus differenciálásával kapott függvény (dinamikus permeabilitás) lokális maximumot és minimumokat mutat? Másképpen fogalmazva: miért tűnnek elő a mérési hibák (ha valóban erről van szó) a numerikus differenciálás következtében?

Az értekezés 20.a ábráján a histerézis görbe a skálázás következtében simának látszik, de nem az. A 20.b ábrán látható mérési hibák a mágneses indukció differenciálásából származnak. Hasonló hibák gyakoriak a remanens mágnesezettség és a koercitív tér tartományában, és a fizikai rendszerek mindegyikében jelen levő zajok következményei, amiket a mérési elrendezés erősítői felnagyíthatnak [H1].

Például, a remanens mágneses indukció környezetében a mágneses térerősség értéke kicsi, azonban kis térerősség változások is nagy indukció változásokat hoznak létre. A kisértékű mágneses térerősségek mérési bizonytalansága nagy, míg a nagyértékű mágneses indukció mérési hibái kicsik. A (3.12) numerikus differenciálás nevezőjében a zajokkal terhelt, kisértékű mágneses térerősségek szerepelnek, ezért akár nulla közeli osztás is történhet, ami felerősíti a mérési hibák hatását. Ennek illusztrálására tekintsük a következő zárt alakú kifejezéseket alkalmazó példát.

Egy nemlineáris mágneses rendszer gerjesztése (a mágneses térerősség) változzon szinuszosan

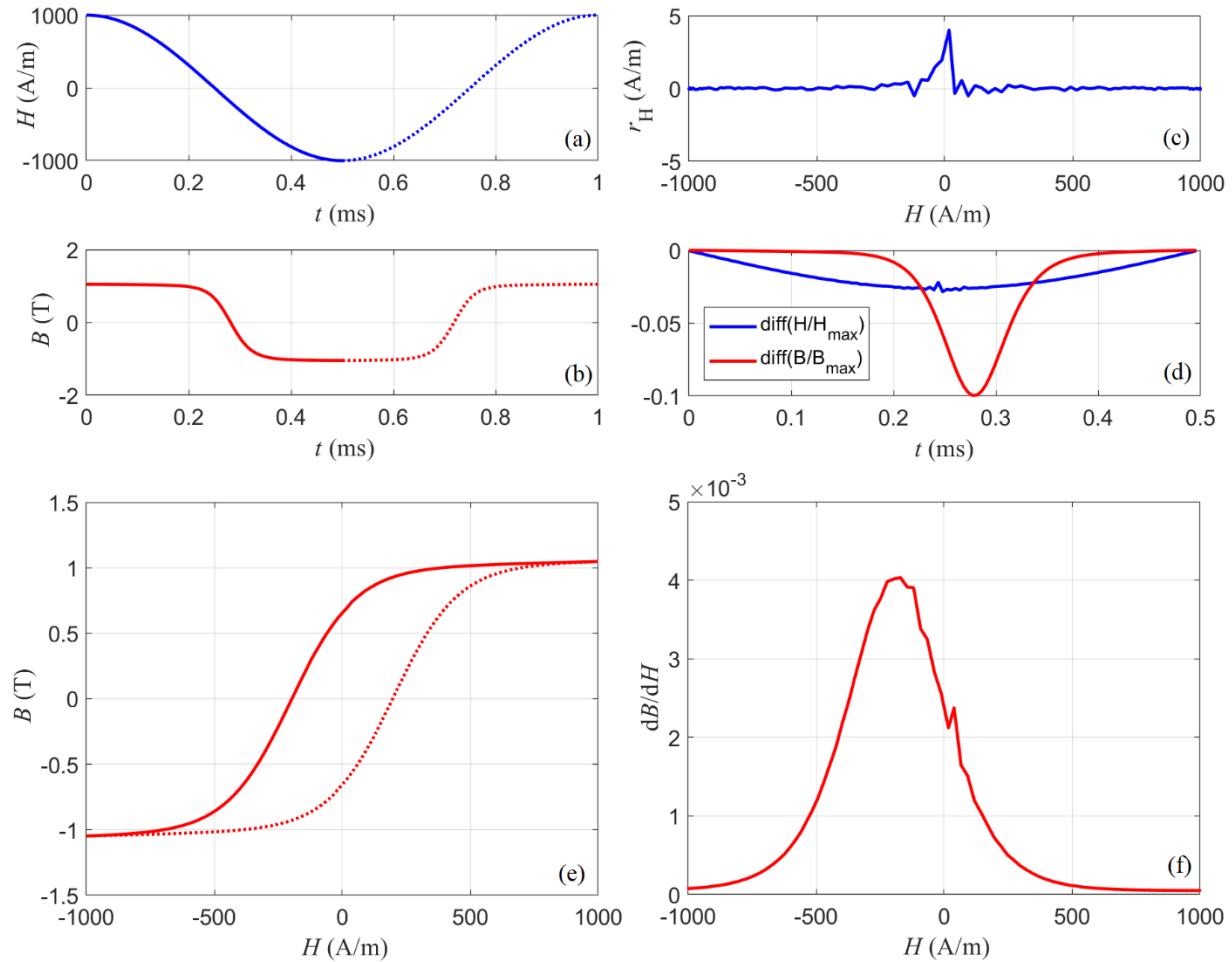
$$h = h_{\max} \cos(\omega t),$$

a rendszer válasza (a mágneses indukció) változzon egy koncentrikus histerézis görbe mentén, ahol

$$b_- = a_2 \left[\tanh(a_1 h + a_0) - b_1 \right] + k_1 h, \quad b_1 = \frac{\tanh(a_1 h_{\max} + a_0) - \tanh(a_1 h_{\max} - a_0)}{2},$$

ha a mágneses térerősség csökken, $h_{\max}$ a maximális mágneses térerősség, $\omega = 2\pi f$ a szinuszos gerjesztés körfrekvenciája, a_0 , a_1 , a_2 a koncentrikus histerézis görbe paraméterei és k_1 a lineáris összetevő együtthatója. Tekintsük a következő modellparamétereket: $f = 1\text{kHz}$, $h_{\max} = 1000\text{ A/m}$

, $a_0 = 0.8$, $a_1 = 4/h_{\max}$, $a_2 = 1$, $k_1 = 0.05/h_{\max}$. A mágneses térerősség és a mágneses indukció időbeli változását a B_A11.a és B_A11.b ábrák szemléltetik. Feltételezzük, hogy a gerjesztő jelhez, például annak mérése során, a jel nagyságával fordítottan arányos amplitúdójú zaj (lásd a B_A11.c ábrát) adódik. A normalizált zajos gerjesztőjel és az ideális válaszjel differenciái a B_A11.d ábrán láthatók. A mérési zajokkal terhelt mágneses térerősség és az ideális mágneses indukció közötti hiszterézis görbén a skálázás elfedi a zajnak a hatását, ahogy a B_A11.e ábra szemlélteti. A dinamikus permeabilitás számításánál alkalmazott numerikus differenciálás azonban kiemeli a zajt, amint a B_A11.f ábrán látható.



B_A11. ábra Egy mágneses rendszer időben szinuszos gerjesztéséhez (a) tartozó válasza (b). Feltételezzük, hogy a gerjesztő jelhez, például annak mérése során, a jel nagyságával fordítottan arányos amplitúdójú zaj adódik (c). A zajos gerjesztőjel és az ideális válaszjel differenciái (d). A koncentrikus hiszterézis görbe, amelyen skálázása elfedi a zajnak a hatását (e). A dinamikus permeabilitás számításánál alkalmazott numerikus differenciálás kiemeli a zajt (f).

3. 24. ábra: Nem világos, hogy a (b) ábra pontosan hogyan keletkezett. Az egyértelmű, hogy ez a valóságos alhurkokat mutatja be, amit a szerző összehasonlít a Preisach modell által generált alhurkokkal, de az nem látszik, hogy hogyan lettek mérve. Az ábra alapján nem könnyű eldönteni, inkább hit kérdése, hogy a méréssel kapott alhurkok valóban kongruensek-e.

A 24.b ábra nem mérési, hanem szimulációs eredmény, amit a mozgó Preisach modell segítségével generáltam. Megfelelőbb lett volna az értekezés 24. ábra előtti bekezdését a következőképpen megfogalmazni

A Preisach modell az esetek többségében nem illeszkedik elég jól a főhurok belsejében mért értékekhez. A modell egyik szembetűnő hiányossága az úgynevezett egybevágósági tulajdonság, vagyis két alhurok mindig egyforma, ha ugyanazon mágneses térerősség értékek között történik a gerjesztés, ahogy a 24.a ábra szemlélteti, azonban a méréssel kapott alhurkok nem kongruensek, hanem függenek a mágneses előélettől. Ma már ismertek megoldások a hagyományos Preisach modell ezen hiányosságának a kiküszöbölésére, például a mozgó Preisach modellel szimulált alhurkok, hasonlóan a mérési eredményekhez nem kongruensek, lásd a 24. b ábrát. A mozgó modell kiegészítő paraméterei lehetőséget biztosítanak a főhurok belsejében mért koncentrikus hiszterézis görbék pontosabb illesztésére is.

4. 3.5 fejezet: A fejezet érdekes és fontos eredményt tartalmaz: FINEMET mágneses kompozit anyagon elvégzett kísérleti adatokra alapozva, a megfelelő Preisach függvények összehasonlításával következtetni lehet a domináns kölcsönhatásra a fázisátalakulás során. Azonban úgy vélem az itt ismertetett eredmények nem kellően alapozzák meg az 1.2 tézispontban összegzett állítást. Ugyanis a szerző egy mérési sorozat eredményét mutatja be, ami az anyag hiszterézis görbéjének a változását írja le a hőmérséklet függvényében 10 Hz-es frekvencián felvett mérésekre alapozva, és ezekből számolja a Preisach függvényeket. De a mért hiszterézis görbe nagyon nagy mértékben függ a mérés során alkalmazott frekvenciától, viszont a Preisach függvény számításánál nem esik szó a mágneses tér változásának a sebességéről. Természetesen, ha ott is a megfelelő frekvencián a dinamikus hiszterézis alapján számolt, akkor ez a megjegyzés okafogyott, de azért legalább meg kellett volna említeni a dolgozatban. De még így is érdekes lett volna látni, hogy ha különböző frekvenciákon történik a mérés és a szimuláció, hatással van-e ez a végső következtetésre. Másik, apró megjegyzésem ehhez a ponthoz, hogy ha a mérések a szobahőmérséklettől 600 °C-ig terjedő tartományban történtek, miért nincs adat a 460 °C feletti tartományból?

A Preisach függvény paramétereinek azonosítását kvázi-sztatikus körülmények között felvett hiszterézis görbékkel szokták elvégezni, kifejezetten az örvényáramok hatásainak a kizárására. Így lehetőség van a különböző mágneses hatások különválasztására, ahogy például a Bertotti által javasolt Veszteségek Statisztikus Elmélete (Statistical Theory of Losses) [H2] esetén is történik. Az örvényáramok hatását leíró Füzi féle frekvenciafüggő dinamikus hiszterézis modell Preisach függvényének a meghatározása kvázi-sztatikus mérések segítségével történt, lásd a 27. ábrát és az 5. táblázatot, valamint az értekezés 46. oldalán a 29. ábra alatti részt. A különböző frekvenciákon mért hiszterézis hurkok csak a dinamikus modell három paraméterét (lásd a 3.53 egyenletet)

befolyásolják. Tehát nincs különbség a hagyományos és a dinamikus modellek Preisach függvényei között.

Mivel nem állnak rendelkezésre más frekvenciákon végzett hiszterézis görbék (a hiszterézis méréseket a szerzőtársaim [8] készítették), így nincs ismeretem a FINEMET nagyfrekvenciás hőmérsékletfüggő viselkedéséről. Amennyiben különböző hőmérsékleteken rendelkezésre állnának a különböző frekvenciákon mért koncentrikus hiszterézis görbék, akkor meg lehetne határozni a Füzi féle dinamikus modell paramétereinek hőmérsékletfüggését. Azonban ezek a görbék nem befolyásolják az egyes hőmérsékleteken a kvázi-statisztikus mérésekből meghatározott Preisach függvényeket, így véleményem szerint azok önmagukban alkalmasak az anyagban létrejövő domináns kölcsönhatások jellemzésére.

A fentiek alapján, az 1.2 tézispontban mindenképpen meg kell adni, hogy a fázisátalakulás vizsgálata a kvázi-statisztikus hiszterézis görbék segítségével történt, ezért ezt a tézispontot a következőképpen fogalmazom meg:

1.2 A kidolgozott zárt alakú hiszterézis modellel kétfázisú FINEMET nanokristályos anyag hőmérséklet függvényében mért kvázi-statisztikus hiszterézis görbéit illesztettem. Ismerve az anyag szerkezetét, a különböző hőmérsékleteknek megfelelő Preisach függvények összehasonlításával következtetni lehet a domináns kölcsönhatásra a fázisátalakulás során.

Egyetértek a bírálóval, hogy érdekes lenne megvizsgálni különféle anyagok frekvencia és hőmérsékletfüggő viselkedését a kidolgozott modellek segítségével. A kis és nagyfrekvenciás mérések azonban más komponensekből álló, speciális teljesítményelektronikai műszerezettséget igényelnek, mivel mindkét frekvenciatartományon akadályt jelent a kellően nagy amplitúdójú jelek előállítása, amivel a mágneses anyagot telíteni lehet.

A 480°C feletti hőmérsékleteken a dipól-dipól kölcsönhatás dominál, aminek kétcsúcsú Preisach függvénye van [H3]. Ezért a 480°C feletti hőmérsékleteknek megfelelő Preisach függvények hasonlóak a 24.f ábrán bemutatott Preisach függvényhez.

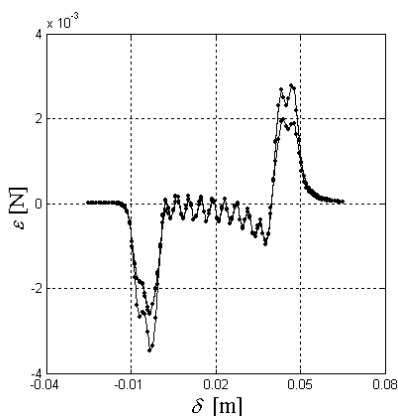
H2. G. Bertotti, A General Statistical Approach to the Problem of Eddy Current Losses, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. 41, pp. 253–260, 1984.

H3. A. Stancu, P. Andrei, Characterization of Static Hysteresis Models Using First-Order Reversal Curves Diagram Method, Physica B: Condensed Matter, Vol. 372, 1–2, pp. 72-76, 2006.

5. 32. ábra: Kis ellentmondás látszik az ábra magyarázatánál. Egyrészt azt állítja a szerző, hogy „A két módszer ugyanazt a mágneses erőt eredményezi”, ugyanakkor kicsit később azt írja, hogy „a pozitív x irányba és a negatív z irányba való elmozdulás esetén egy adott pozíciónál a mágneses erők különbözhetnek”. Az ábrán elég jelentős eltérés látható a csúcsok között.

Az első mondat a két számítási módszer eredményeinek a hasonlóságára utal. A kétféleképpen számított mágneses erők nagysága közötti különbség a B_A12 ábrán látható.

Az értekezésben szereplő „Az ábrán megfigyelhető, hogy a két módszer ugyanazt a mágneses erőt eredményezi.” mondat helyett célszerűbb lett volna *Az ábrán megfigyelhető, hogy a kétféle számítási módszer eredményei megegyeznek.* mondatot írni.



B_A12. A kétféleképpen meghatározott mágneses erő közötti különbség.

6. 33. ábra: Jó lett volna magyarázni, mi a különbség az (a), (b) és (c) ábrák között.

Az értekezés 33. ábrája előtti rész tartalmazza a magyarázatot:

A ferromágneses henger egyik térfogatelemének (lásd az 31.a ábra színezett térfogatelemét) a mágneses térerőssége és a mágnesezettség vektorának komponensei között a ferromágneses henger és a tekercs közötti távolság változásának függvényében létrejövő hiszterézist a 33. ábra szemlélteti [10].

Egyetértek a bíráló véleményével, hogy jobb lett volna ezt az ábra aláírásban is kifejtteni.

7. Az elektromágneses metaanyagok modellezése és mérnöki alkalmazásai c. fejezethez kapcsolódó kérdésem: A modellezés sok újat tett hozzá tudásunkhoz, de a tényleges mérnöki alkalmazások területén némi hiányérzékem van. Hasznos lett volna, ha a szerző legalább felvillant néhány konkrét példát, hogy lehet a gyakorlatba átültetni a modellezés során kapott eredményeket, mik lehetnek a tényleges alkalmazások.

A metaanyagok lehetőséget teremtenek számos elektromágneses eszköz, például kisméretű és jó sugárzási tulajdonságokkal rendelkező antennák kialakítására. Egy ilyen eszköznek a tervezését mutatja be az értekezés „6.1 Metaanyag lencsék tervezése” című fejezete. A értekezés 60.b, 61.b ábráinak melléklete elkészült prototípusokat mutat. Az egyik elkészült prototípus, aminek alapján szabadalom [P1] is készült a B_A13. ábrán látható.

Ahogy értekezésem kitekintő részében is írtam, a metaanyagok nagyon aktívan kutatott tématerület. Az alap kutatás eredményeként a metaanyagok az ipari alkalmazhatóság közelebb kerültek, például a mikrohullámú eszközök és antennák vagy az optikai érzékelők területén. A jövőben a metaanyag alapú elektromágneses eszközök széleskörű elterjedése várható. Már megjelentek a metaanyag technológiát alkalmazó cégek. Például a 2012-ben alapított KYMETA cég (www.kymetacorp.com) metaanyag alapú kommunikációs rendszerekkel jelent meg a piacon. A közeljövőben számos hasonló vállalkozás megjelenése várható.



B_A13. Metaanyag lencsével szerelt foltantenna prototípusa.

Még egyszer megköszönöm munkám értékelését és a pozitív bírálatot. Remélem sikerült a felmerült kérdésekre kielégítő módon válaszolnom.

Szabó Zsolt

Budapest. 2018, július 12.

Szabó Zsolt