Szabó Zsolt

„Mágneses anyagok és elektromágneses metaanyagok modellezése és mérnöki alkalmazásai"

c. doktori munkájának bírálata

A benyújtott doktori mű fontos, a műszaki anyagtudomány több időszerű kérdésével foglalkozó, elsősorban elméleti, kutatási eredményekről számol be. Főleg a mérnöki alkalmazásokban használható tervezési feladatok megoldásához kidolgozott programcsomagokat mutat be, illetve ezek közül egyesek modellkísérletekkel való összevetését tárgyalja. A két fő témakör (mágneses anyagok hiszterézis karakterisztikájának zárt alakú leírása, illetve nagy frekvenciákon is alkalmazható metaanyagok – kisméretű, összetett geometriájú, stuktúrálással hangolt elektromágneses tulajdonságú anyagok – tervezése és mérnöki alkalmazásai) nagyszámú, jelenleg is aktívan kutatott problémát érint és számos fontos mérnöki alkalmazást alapoz meg, illetve vetít előre.

Az értekezés első, illetve második fejezete világos, időszerű ismeretekről tanúskodó, célratörő megfogalmazású, az alapismereteket, illetve a választott témák előzményeit foglalja össze. Már ez a rész sem egy könnyű esti olvasmány (különösen 2.2-2.4 alfejezetek, illetve a mellékletek), de a későbiekben kiderül, hogy ilyen részletezésre is szükség volt a saját eredmények bemutatásához.

A 3. fejezettől kezdődő fejezetekben a saját eredményeit tartalmazó tézisekhez kapcsolódó – a tervezésekhez szükséges - elméleti előzményeket és az új eredményeket együtt tágyaló módon mutatja be saját kutatásait. Így minden fejezet az ahhoz a részhez kapcsolódó tézisekkel zárul.

A 3. fejezet a mágneses anyagok hiszterézis karakterisztikájának zárt alakú leírását tárgyalja. A 3.4 alfejezetben a szerző bevezeti azt a speciális Preisach függvényt, amely zárt alakú hiszterézis modellt eredményez. Ez gyors, a mérnöki programcsomagokba sikeresen beépíthető eredményt adott. Ennek alkalmazásaira ad példákat a 3.5, 3.6 és 3.7 alfejezetekben. A 3.8. alfejezet pedig az előző négyben leírt eredmények tézises összefoglalása (I. téziscsoport). Először szeretném megjegyezni – és ez a később téziscsoportokra is vonatkozik –, hogy a tézisek a szokásos formáknál jóval terjengősebbek (pl. az I.1 tézispontból a második bekezdés első és utolsó mondatát elég lenne megtartani, az I.2, I.3 és I.4 altéziseket pedig tömörítve egy alpontban is megfogalmazhatónak tartom).

Kérdésem/megjegyzésem a FINEMET anyag hőmérsékletfüggő mágneses tulajdonságairól kapott eredményhez: léteznek más megközelítésű leírások (pl. : J of Magn. and Magn. Mat. 320 (2008) L26–L29) is, amelyek a hiszterézis görbe változásiból következtetnek a jelenlévő mágneses fázisok járulékaira. Mit adna (adna-e többet) az ezekkel való összhasonlítás?

A 4. fejezet a Kramers-Kronig összefüggésekben szereplő integrálok számítására zárt alakú összefőggéseket vezet le metaanyagok effektív átviteli paramétereinek meghatározására. Ennek alapján az elsőfokú u.n. kivonó Kramers-Kronig összefüggések konvergenciáját vizsgálta a horgonyfrekvenciák számának függvényében és meghatározta a negatív törésmutató képzetes részéből annak valós részét. A II. téziscsoport ezeket az erdményeket fejti ki.

Az 5. fejezet a „Metaanyagok homogenizálása" címet viseli. Periódikus metaanyagok esetén, ha a cellaméret sokkal kisebb, mint a legkisebb optikai hullámhossz, akkor a szerkezet homogenizálható (egyetlen homogén réteggel helyettesíthető) és az optikai tulajdonságok jósolhatók a bemenő elektromágneses paraméterekből. Ha a hullámhossz és a cellaméret összemérhető akkor nincs általános módszer és két eljárás követhető: i) a diszkrét elemekből álló metaanyag vékony homogén réteggel helyettesítendő, ii) vagy olyan kompozit réteggel helyettesítendő, amelyre kompozitokra vonatkozó nagyfrekvenciás keverési törvényt kell alkalmazni. Az 5.1 alfejezet az első eljárás inverz feladatát tárgyalja (a transzmissziós és reflekciós adatokból meghatározandók a metaanyag paraméterei) és eljárást ad a megoldásra. Bemutatja az alklmazhatóság korlátait is és több példán keresztül illusztrálja a kidolgozott eljárás használhatóságát. A 4.7. ábrán a fekete pontok nehezen különíthetők el a többi (más színű) ábrarészektől. Az 5.2 alfejezetben a Maxwell-Garnett keverési törvénynek a Mie-elmélettel való kiterjesztését alkalmazza vágott gyűrűs (SRR) tipusú metaanyaghoz rendelt rekvivalens kompozitokra nagyobb (THz-es) frekvenciákra is. Az ehhez a fejezethez kapcsolódó tézispontokat tartalmazza a III. téziscsoport: hasonlóan a korábbi megjegyzésemhez: a megfogalmazás itt sem elég célratörő (pl. a III.1 pontban legendő lenne az első és utolsó mondat, hasonló rövidítések lehetnének a többi alpontban is). Kérdés: a 80.-ik oldalon az 52. ábra alatti bekezdés számora nem elég világos (az első és utolsó mondata mintha ellentmondana egymásnak). Kérem fejtse ezt ki pontosabban. A III.4 tézist ennek függvényében tartom elfogadhatónak.

A 6. fejezet címe: „Metaanyagok és kompozitok alkalmazásai". Számomra ez a legjobb fejezet, célratörően ír le izgalmas, jövőbe is mutató alkalmazásokat. A 6.1. alfejezet antennalencsék tervezését tárgyalja. A metaanyagok alkalmazásával lehetőség van olyna lencse antennák készítésére, amelyek a hullámhossznál kisebb geomtriai méretűek. NYÁK technológiával megvalósítható, mobil kommunikációs eszközökben használható olyan antennákat tervezését ismerteti, amelyeknél az irányítottság és a nyereség növelése a fő cél. A fejezet nem csak a szimuláció lépéseit taglalja, hanem a transzmissziós és reflexiós mérséek alapján annak finomításait is tartamazza.

A negatív törésmutatójú vékony rétegű metaanyaggal egy pontszerű forrás elektromágneses tere újra fókuszálható és ez elvi lehetőséget ad a diffrakciós határ alatti képalkotásra. Az optikai tartományban működő ilyen eszköz még nincs. Ezt a problémát elemzi a 6.2. alfejezet, és rámutat arra is, hogy az egyik fő problémát az okozza, hogy az evaneszcens összetevők átvitelét is meg kell oldani. Megmutatja, hogy a 100 nm-es felbontáshoz a használt metaanyag elemi cellája nem lehet nagyobb, mint 10-20 nm. Kidolgozott egy programcsomagot ilyen rendszerek numerikus szimulációjára egy vagy többrétegű, illetve kompozit metaanyag (SiO_2be ágyazott, gömb alakú, 2nm-es Ag

szemcséket tartalmazó) lencsékre illusztrálva. A 6.3 alfejezet a metaanyagokkal történő, az infravörös tartományban működő elektromágneses elrejtésre vonatkozó, tervezési eljárásokat mutat be. A IV. téziscsoport a 6. fejezetben bemutatott eredményeket összegezi.

Összefoglalva, a jelölt imponáló elméleti felkészültséggel rendelkezik. Az egyes tézisekhez vezető háttértudás bemutatása mély megértést, a tudásanyag aktív felhasználásának képességét tükrözi. A tézispontok tartalmi állításait – a III.4 tézis kivételével a – elfogadom. A III.4 tézispontot megfelelő válasz esetén szintén elfogadhatónak tartom.

A doktori művet nyilvános vitára alkalmasnak tartom.

Debrecen. 2018, június 15.

Beke Dezső

MTA doktora