

Válasz opponensi bírálatra

Opponens: Dr. Beke Dezső, egyetemi tanár, az MTA doktora

Mindenekelőtt köszönetemet szeretném kifejezni Dr. Beke Dezső Professzor 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. Először szeretném megjegyezni – és ez a későbbi téziscsoportokra is vonatkozik –, hogy a tézisek a szokásos formáknál jóval terjengősebbek (pl. az 1.1 tézispontból a második bekezdés első és az utolsó mondatát elég lenne megtartani, az 1.2, 1.3 és 1.4 altéziseket pedig tömörítve egy alpontban is megfogalmazhatónak tartom).

valamint

...a III téziscsoport: hasonlóan a korábbi megjegyzésemhez: a megfogalmazás itt sem eléggé célrátörő (pl. a III.1 pontban elegendő lenne az első és utolsó mondat, hasonló rövidítések lehetnének a többi alpontban is).

Egyetértek a bíráló észrevételével, hogy a téziseket tömörebben is meg lehetett volna fogalmazni. A szétbontást célja az volt, hogy könnyebben lehessen az egyes tézistrészeket a hivatkozott publikációimhoz kapcsolni.

2. 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 változásaiból következtetnek a jelenlévő mágneses fázisok járulékaira. Mit adna (adna-e többet) az ezekkel való összehasonlítás?

A hivatkozott cikkben [H1] a J. Takács által kidolgozott, úgynevezett $T(x)$ hiszterézis modellt alkalmazzák a FINEMET hőmérsékletfüggő mágneses tulajdonságainak a leírására. A modell arra a felismerésre épül, hogy a $\tanh(\)$ függvény megfelelő paraméterválasztással jól közelítheti a Langevin és a Brillouin függvényeket. Koncentrikus hiszterézis hurkok esetén elegendő csak eltolásokat alkalmazni, így a modell a következő alapformában írható [H2]

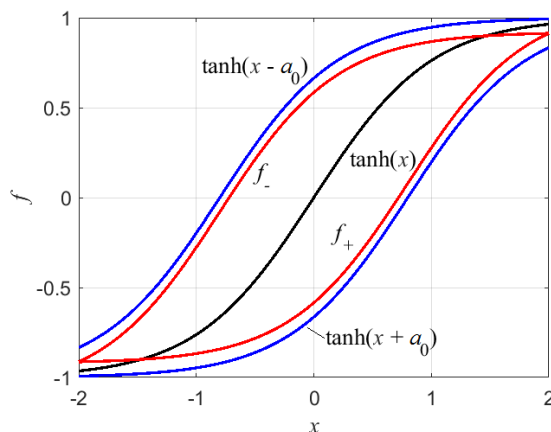
$$f_+ = \tanh(x - a_0) + b_1, \text{ ha a mágneses térerősség növekszik} \quad (\text{B1})$$

$$f_- = \tanh(x + a_0) - b_1, \text{ ha a mágneses térerősség csökken,} \quad (\text{B2})$$

ahol x a hiszterézis modell bemenete (normalizált mágneses térerősségnek megfelelő mennyiség), $f_{\pm}$ a hiszterézis modell kimenete (normalizált mágnesezettségnek vagy mágneses indukciónak megfelelő mennyiség), a_0 a koercitív teret szabályozó paraméter és

$b_1 = \frac{\tanh(x_m + a_0) - \tanh(x_m - a_0)}{2}$ a koncentrikus görbe záródását szabályozó paraméter.

A_B1. ábra a koncentrikus histerézis görbe létrehozásának a lépéseit szemlélteti az $x_m = 2$ és $a_0 = 0.8$ esetén. Ennek alapján a $T(x)$ modell a Rayleigh féle histerézis modell ([H3] p. 43, lásd a (2.3) és (2.4) összefüggéseket) nagy térerősségekre való kiterjesztésének tekinthető.



A_B1. ábra A $T(x)$ modell koncentrikus histerézis görbéjének a létrehozása.

A $\tanh(\)$ függvény egyszerű histerézis modellt eredményez, azonban alakja további paraméterezéssel sem teszi lehetővé tetszőleges alakú koncentrikus histerézis görbe illesztését. A [H1] érdeme, hogy felismerte miként lehet a FINEMET esetén a mágnesezési folyamatot a domének forgása és a doménfalak elmozdulása következtében létrejövő hatásokra szeparálni. Ehhez a telítési koncentrikus histerézis görbe ismeretén kívül, az úgynevezett reverzibilis mágneses permeabilitás ismerete is szükséges, ami további mérésekkel meghatározható. A domének forgása egy kis koercitív térrel, a doménfalak elmozdulása egy nagy koercitív térrel rendelkező histerézis hurkot eredményezett és ebben a speciális esetben mindkettő sikeresen illeszthető volt a $T(x)$ histerézis modellel [H1, Fig. 3]. Általában a histerézis görbék alakja nem írható le egy zárt alakú függvénnyel, hanem több görbe lineáris szuperpozíciója szükséges a megfelelő illesztéshez és ezekhez nem mindig lehet különálló fizikai jelenséget azonosítani,

A $T(x)$ modell bonyolulttá válik tetszőleges mágnesezési folyamat során létrejövő alhurkok modellezésénél. Ahogy az értekezés is szemlélteti, a Preisach modell lépcsősgörbéje tetszőlegesen bonyolult mágnesezési folyamat esetén is elegáns megoldást kínál. Az általam javasolt zárt alakú kifejezéseket alkalmazó Preisach modell paramétereinek a meghatározásához elegendő a koncentrikus histerézis görbék ismerete. Ahogy az értekezés példái is mutatják, a modell azokban az esetekben is sikeresen illeszthető, és nemcsak egy koncentrikus histerézis görbére, hanem akár egy egész mágnesezési folyamatot feltérképező görbeseregbe is, amikor nem ismertek a histerézis görbe menetéért felelős jelenségek, vagy nem lehet őket egyértelműen szétválasztani. Preisach függvény megmutatja a mágnesezési folyamatban nagy súllyal résztvevő histeronokat, amelyek segítségével következtetni lehet a domináns kölcsönhatásokra.

H1. L. K. Varga, Gy. Kovács and J. Takács, Modeling the overlapping, simultaneous magnetization processes in ultrasoft nanocrystalline alloys, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Volume 320, Issues 3–4, 2008, 3. pp. L26-L29,

H2. J. Takács, A phenomenological mathematical model of hysteresis, Compel, vol. 20, pp. 1002-1015, 2001.

H3. A. Iványi, Hysteresis models in electromagnetic computation, Akadémia Kiadó, Budapest, 1997.

3. Kérdés: a 80 - ik oldalon az 52. ábra alatti bekezdés számomra nem eléggé világos (az első és utolsó mondata mintha ellentmondana egymásnak). Kérem fejtse ezt ki pontosabban. A III. 4 tézist ennek függvényében tartom elfogadhatónak.

Az 52. ábra alatti bekezdés

Hasonló számításokat nagyobb frekvenciákon működő metaanyagokra is elvégeztem, azonban a minimalizáló eljárás nem megvalósítható elektromos permittivitás értékeket eredményezett. A 2-2.5 THz tartományon működő FishNet (Khodasevych, és mtsai., 2012) ekvivalens kompozitjának a paraméterei $r_a = 4.24 \mu\text{m}$, $\varepsilon_r^i = 242.02$, $\zeta = 0.13$ és $\varepsilon_r^h = 4.95$. A 780 nm közeli infravörös telekommunikációs tartományon működő negatív törésmutatójú FishNet (Dolling, Wegener, Soukoulis, & Linden, 2007) ekvivalens kompozitjának a paraméterei $r_a = 48.39 \text{ nm}$, $\varepsilon_r^i = 206.13$, $\zeta = 0.127$ és $\varepsilon_r^h = 5.31$. Mindkét esetben jó egyezés van a FishNet és az ekvivalens kompozit mágneses permeabilitás között.

A következőkben bemutatom az ehhez a részhez kapcsolódó részletes számítási eredményeket.

A THz-es tartományon működő FishNet metaanyag és ekvivalens kompozitjának elektromágneses paramétereit a B_A2.ábra szemlélteti. A szimulációkban használt elemi cella geometriája a B_A2.b ábra mellékábráján látható. Az elemi cella nagysága $a = 70 \mu\text{m}$, a 200 nm vastagságú aranyból készült fémezés méretei $p = 50 \mu\text{m}$ és $w = 5 \mu\text{m}$, a PDMS hordozó vastagsága $t = 10 \mu\text{m}$. A szimulációkban az aranyat $\sigma = 4.561 \cdot 10^7 \text{ S/m}$ vezetőképességű veszteséges fémként, a PDMS hordozót ($\varepsilon_r = 2.35$, $\tan \delta = 0.02$ a 2 THz frekvencián) veszteséges szigetelőként vettem figyelembe. A gerjesztő síkhullám merőleges a FishNet metaanyag felületére, és az elemi cella vízszintes oldalával párhuzamosan polarizált. A B_A2.a és B_A2.b ábrákon a CST Microwave Studio programcsomag időtartománybeli megoldójával meghatározott S-paraméterek láthatók, amelyekből az EMPEX algoritmussal kiszámítottam a B_A2.c és B_A2.d ábrákon látható hullámimpedanciát és törésmutatót, valamint a B_A2.e ábrán látható elektromos permittivitást és mágneses permeabilitást. A görbeillesztéssel, lásd az (5.13) összefüggést, meghatározott ekvivalens kompozit elektromos permittivitását és mágneses permeabilitását a B_A2.f ábra mutatja. A B_A2.e és B_A2.f ábrák összehasonlításával megfigyelhető, hogy jó egyezés van a THz frekvencián működő FishNet és az ekvivalens kompozit mágneses permeabilitása között. Az ekvivalens kompozit paraméterei: a gömb alakú részecskék sugara $r_a = 4.24 \mu\text{m}$, elektromos permittivitásuk $\varepsilon_r^i = 242.02$, a kitöltési tényező $\zeta = 0.13$ és a homogén

közeg elektromos permittivitása $\varepsilon_r^h = 4.95$. Ellentétben a mikrohullámú frekvenciákon működő SRR rezonátorok esetén meghatározott kompozittal, a THz frekvenciákon nincs olyan szigetelő anyag, amelyből a kompozithoz szükséges nagyon nagy elektromos permittivitású gömb alakú részecskék elkészíthetők lennének.

A közeli infravörös tartományon működő FishNet metaanyag és ekvivalens kompozitjának elektromágneses paramétereit a B_A3. ábra szemlélteti. A B_A3.b ábra mellékletében látható négyzet alakú elemi cella mérete $a = 600$ nm. A téglalap alakú rés nagysága $w_x = 316$ nm és $w_y = 100$ nm (lásd a 43.a ábrát). A fémezés 45 nm vastag ezüstből készült, amelyet a Drude modell segítségével vettem figyelembe a szimulációkban. Az elválasztó réteg 30 nm vastagságú, $\varepsilon_r = 1.9044$ elektromos permittivitású MgF_2 réteg. A B_A3.e és B_A3.f ábrák összehasonlításával megfigyelhető, hogy ebben az esetben is jó egyezés van a közeli infravörös tartományon működő FishNet és ekvivalens kompozitjának mágneses permeabilitása között. Az ekvivalens kompozit paramétereit: a gömb alakú részecskék sugara $r_a = 48.39$ nm, elektromos permittivitása $\varepsilon_r^i = 206.13$, a kitöltési tényező $\zeta = 0.127$ és a homogén közeg elektromos permittivitása $\varepsilon_r^h = 5.31$. Az infravörös tartományon sincs olyan szigetelő anyag, amelyből a kompozithoz szükséges nagyon nagy elektromos permittivitású gömb alakú részecskék elkészíthetők lennének.

A fentiek alapján megfelelőbb lett volna az 52. ábra alatti bekezdést a következőképpen megfogalmazni:

Hasonló számításokat nagyobb frekvenciákon működő metaanyagokra is elvégeztem. A 2-2.5 THz tartományon működő FishNet (Khodasevych, és mtsai., 2012) ekvivalens kompozitjának a paramétereit $r_a = 4.24 \mu\text{m}$, $\varepsilon_r^i = 242.02$, $\zeta = 0.13$ és $\varepsilon_r^h = 4.95$. A 780 nm közeli infravörös telekommunikációs tartományon működő negatív törésmutatójú FishNet (Dolling, Wegener, Soukoulis, & Linden, 2007) ekvivalens kompozitjának a paramétereit $r_a = 48.39$ nm, $\varepsilon_r^i = 206.13$, $\zeta = 0.127$ és $\varepsilon_r^h = 5.31$. Mindkét esetben jó egyezés van a FishNet és az ekvivalens kompozit mágneses permeabilitása között, azonban az eljárás gyakorlatilag nem megvalósítható kompozitot eredményezett. A THz vagy az optikai frekvenciákon nincs olyan szigetelő anyag amelyből a kompozithoz szükséges nagyon nagy elektromos permittivitású gömb alakú részecskék elkészíthetők lennének.

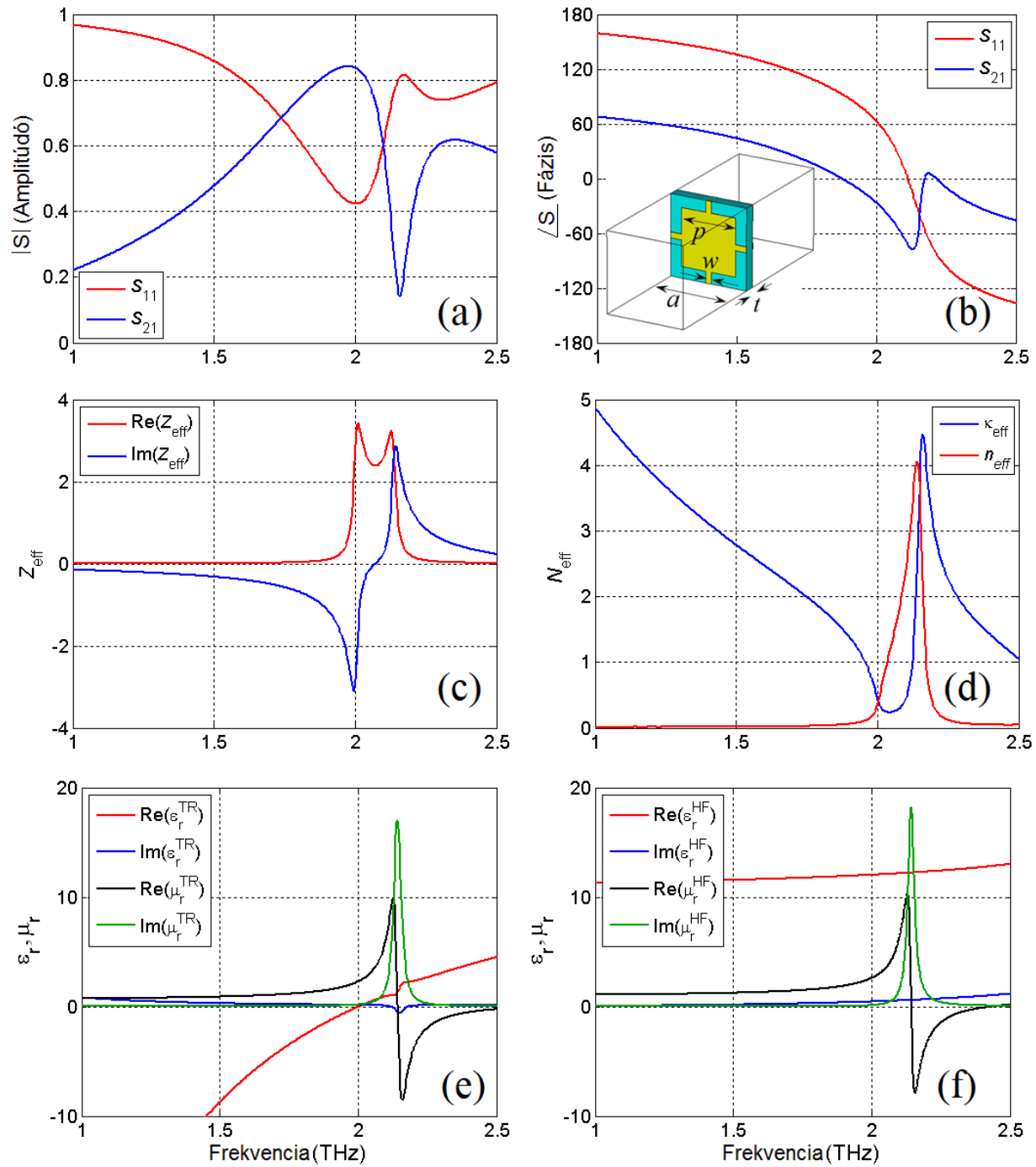
Az ekvivalens kompozit megvalósíthatósága nem befolyásolja a III.4 tézispont állításait, ezért kérem szépen annak elfogadását.

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

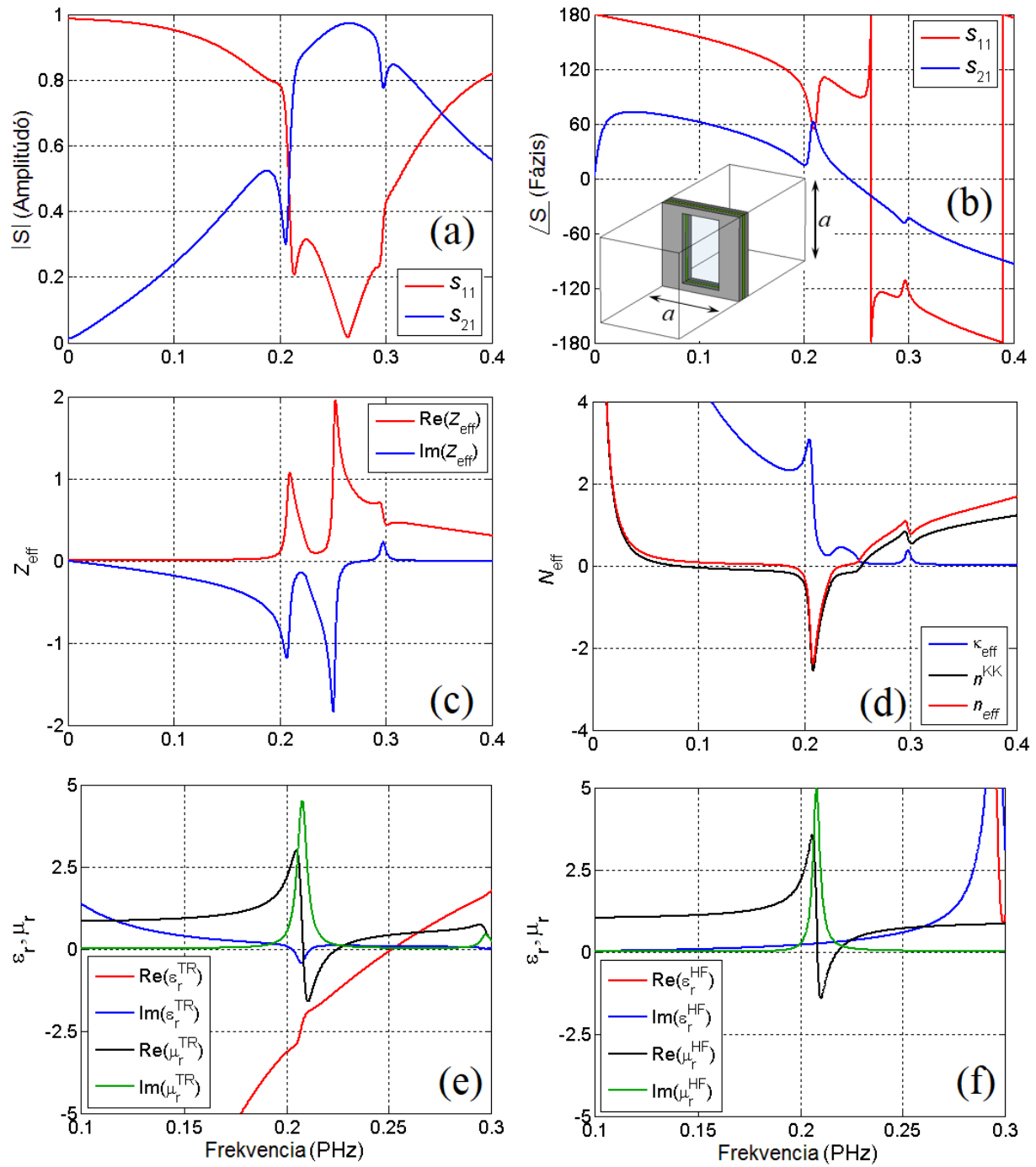
Szabó Zsolt

Budapest. 2018, július 10.

Szabó Zsolt



A_B2. ábra A THz-es frekvenciasávban működő FishNet metaanyag és ekvivalens kompozitjának az elektromágneses paraméterei.



A_B3. ábra A közeli infravörös frekvenciasávban működő FishNet metaanyag és ekvivalens kompozitjának az elektromágneses paraméterei.