

Bírálat

Szentpáli Béla

„Az elektromágneses sugárzás mérésének új módszerei”
című MTA doktori érkekezéséről

Az értekezésben Szentpáli Béla két évtizedet meghaladó kutató-fejlesztő munka eredményeit ismerteti. Ez a munka céltudatos, innovatív és széles területet fed le. Ezért nem ünneprontás, ha a bíráló a számos értékes elemet és eredményt tartalmazó mű címét túlságosan átfogónak tartja. A munka nem új mérési módszereket vezet be – véleményem szerint a méréstechnika közel évszázados fejlődése után ez új fizikai effektus felfedezése nélkül már valószínűtlen lenne – hanem figyelemre méltó fejlesztéseket hajt végre az ismert elveken alapuló módszereken. Ugyanakkor egyes eredmények nem kapcsolódnak a mérésekhez.

Az értekezés három mérési eljárás fejlesztése során elért eredményeket ismerteti a rövid áttekintést nyújtó bevezetést követő három fejezetben. Ezek rendre: EM teljesítménysűrűség mérése izotróp dipólantennával, bolométerek és termisztorok zaja, termoelektromos termooszlop. Az érdemi fejezeteket a téziseket összefoglaló, az eredmények hasznosítását ismeretető, majd a publikációkat felsoroló fejezetek követik. Az értekezés részeredményeket tartalmazó függelékkel illetve köszönetnyilvánítással zárul. Az értekezés érdemi részének hossza kerekén 100 oldal. Az értekezés kiállítása gondos, ábrái szépek és áttekinthetők. Elírás, gépelési hiba csak elvétve található. A szerteágazó területeket tárgyaló értekezés (EM tér, szilárdtestfizika és technológia) talán megérdemelt volna egy jelölésjegyzéket.

A továbbiakban az egyes témákkal foglalkozó fejezeteket és a kapcsolódó téziscsoportokat külön-külön értékelem.

I. Teljesítménymérő szonda

A szonda feladata alapvetően mobil telefonok keltette EM teljesítmény mérése. A mérés fejmodeliben (fantom) történik. A fejmodell megfelelő vezetőképességű folyadékkal van kitöltve. A mobiltelefont a fejmodellhez illesztik és a folyadék belsejében több ponton kell mérni a teljesítménysűrűséget. Az erre a célra szolgáló „izotróp dipólantenna” három egymásra merőlegesen elhelyezett rövid dipól. Miután a dipólok táppontja nem eshet egybe, mert a távvezetékek szerelése gyakorlatilag megoldhatatlan, a dipólokat egy egyenlőoldalú háromszög alapú hasáb három oldalára erősítik megfelelő szögben. (Az értekezés 2.13. ábrája). Az egyes antennák térerősséggel arányos jelét négyzetes karakterisztikájú diódával veszik és így a három merőleges diódából kapott jel összege arányos a teljesítménysűrűséggel.

A szonda kialakítását a jelölt vékony poliészter hordozón vastagréteg technológiával oldotta meg, majd a sík lemezből hajtogatással hozta létre a háromszög alapú hasábot. A technológia előnyei nyilvánvalóak. Hátránya, hogy a hasáb kialakítása az egyik élnél asszimetriát okoz és ez az elrendezés karakterisztikáját anizotróppá teszi. A szerző szerint ez az anizotrópia a mérés során megengedhető.

1., Kérem a jelöltet, hogy az értekezésben elmondottakat részletesebben fejtse ki: miért nem jelent az anizotrópia a mérésben meg nem engedett hibát. Egyenként kell-e a mérőszándákat hiba tekintetében ellenőrizni?

Csak apró megjegyzés: a szerző által bemutatott átviteli karakterisztikák logaritmikus frekvenciadiagramját (Bode-diagram) szokatlan Lorentz görbének nevezi. (12. oldal). Ezzel ellentétben a 46. oldalon nevén nevezve jelenik meg az általánosan Lorentz-görbének nevezett haranggörbe.

Az értékelő dióda céljára planárisan adalékolt, más elnevezéssel háromszögletű potenciálgáttal rendelkező GaAs dióda. Ez a standard módon használt diódákhoz hasonló nem igényel előfeszítést. Legfőbb előnye a kis zaj abban a „négyzetes karakterisztika” tartományban, ahol a diódát detektálásra használják.

A szonda kalibrálására a standard módszerek mellett a jelölt kidolgozott egy csőtápvonalas mérést. Az eljárás rendkívül szellemesen használja a hengeres csőtápvonal TE_{11} módusának geometriai tulajdonságát. A szonda különböző tengelyek körüli forgatásával az izotrópia, ill. annak sérülése kellő érzékenységgel kimutatható. Igazolta, hogy a mérés izotrópiája folyadékban nem változik.

Illusztrálta a rendszernek ezt a tulajdonságát, hogy a szonda mérési tartományát felülről a dióda karakterisztikája, alulról a nagy ellenállású mérőkör termikus zaja korlátozza. A hiba becslését azonban nagyon nagyvonalúnak tartom (29. oldal), ugyancsak kontrollálандónak tartom a zavaró effektusok magyarázatát. Idézem: „Ennek a fluktuációnak az eredetét az alacsonyfrekvenciás (pl 50 Hz) mágneses tér keltette indukciónak tulajdonítottam (30. oldal) „Ez utóbbit (fluktuáció) a helyi rádióadóknak tulajdonítottam (30. oldal)

Szélessávú szondát hozott létre hasonló technológiával, de eltérő, nem forgásszimmetrikus geometriával. A jel feldolgozása – részben ezért is - numerikusan történik. Nem világos, hogy a konzorciumban kivitelezett eszközből milyen igénypontokra tart sajátjának a jelölt.

A tézisek között szereplő kalibrációs eljárás nem tekinthető tudományos újdonságnak.

A vonatkozó 1 Téziscsoport téziseit tehát az alábbiakban tudom elfogadni.

- 1.1. tézis technológiai újdonságot hordoz, de tudományosan nem tartalmaz újdonságot.
- 1.2. tézis a szonda csőtápvonalas kalibrációját ismerteti, ami alapvetően új, igen innovatív. Új tudományos eredmény
- 1.3. tézis az EMC szonda ismét csak technológiai újdonság, nem tudományos. A kalibráció nem tartalmaz újdonságot.
- 1.4. tézis a planárisan adalékolt GaAs dióda új fizikai tulajdonságait ismerteti. Nevezetesen: a szabad töltéshordozók diffúziója mindig előbb korlátozza az áramot, mint driftsebesség maximuma. Ezt számításokkal és mérésekkel is igazolták. A tézis új tudományos eredményt rögzít és a jelölt bevezetőben említett időszakának terméke. Az előzőekben azért nem említettem, mert a télerősség mérésében a diódák a telítéstől igen távoli munkapontban működnek.

II. Miniatűr bolométerek és termisztorok zajhatárolt érzékenysége

Ez a fejezet a széles körben használt termikus ellenállások mérési tulajdonságaival foglalkozik. A bolométer teljesítménymérő, termisztor pedig a környezet hőmérsékletét méri. A régóta részleteiben vizsgált eszközök használatában új lehetőségeket a mikroelektronikai technológiák alkalmazása, a „mikrogépészet”. A miniatűr eszközök kis méretei miatt az eszközök időállandói kicsinyek, ezért nagy sáv szélességű jelfeldolgozást tesznek lehetővé. A nagy sáv szélesség növeli a zajt. Ennek a mérésekre gyakorolt hatását részletezi a fejezet.

A szerző módszeresen foglalkozik a különböző eredetű zajokkal: mért mennyiség fluktuációja, termikus zaj és elektronikus zaj. A zajt a spektrumából számítható zajekvivalens jellel írja le. Ennek meghatározásánál a sáv szélesség döntő, amit általában

$$\Delta f = \frac{1}{\tau}$$

formában határoz meg, ahol τ a hőidőállandó.

2., Kérdés: *hogyan értsük, hogy „általános esetben lehet $\Delta f = \frac{m}{\tau}$ összefüggéssel számolni, ahol m tetszőleges szám”?*

Ez a sáv szélességet tetszőlegesen kiterjeszti, megnövelve az érzékenységet és lecsökkentve a számítás sebességét. Mikor indokolt ez és milyen szempontjai vannak m megválasztására?

Valószínűleg terminológiai félreértés, de a (3.2.3.) formula hibás. Az $e^{-\frac{t}{\tau}}$ függvénynek nincs Fourier transzformáltja. Létezik ellenben az $e^{-\frac{|t|}{\tau}}$ függvénynek, ez $\frac{2\tau}{1+(\omega\tau)^2}$. Ezt tekintik a zaj kovariancia függvény spektrumának.

A két rokon eszközt egyszerű termikus modellek alapján tárgyalja szerző- Ennek alapján igazolja, hogy a termisztor termikus zaja okozta bizonytalanság nem függ az elektromos és hőellenállások értékétől, csupán a hőkapacitástól és az ellenálló hőkoeficiensétől. Ezt rögzíti a 2.1. tétel, amit új tudományos eredménynek elfogad.

Az $1/f$ zaj szingularitása a számításokban problémát okoz. A szerző ezt a zaj két véges frekvencia közötti figyelembevételével kívánja kezelhetővé tenni. Így a zajspektrum integrálásánál eltűnik a szingularitás. Az integrálás határainak meghatározásával szemben semmilyen fizikai elvet nem idéz a szerző. A határok önkényes meghatározásának egyetlen alátámasztása, hogy különböző véges értékek felvételével a (3.5.4.) formula szorzótényezője kevésbé változik, és a formula másik tényezője sem ismert kellő pontossággal.

Ez az eljárás azt mutatja, hogy az $1/f$ zaj általános esetben elhanyagolható a termikus zaj mellett. Az ezt rögzítő 2.2. tétist csak ilyen értelemben, mint becslési eljárást tartom elfogadhatónak, de nem tekintem tudományos eredménynek.

A fejezet további része a generációs-rekombinációs zajjal foglalkozik. Ez szorosan nem kapcsolódik az értekezés témájához, „itt a teljesség kedvéért szerepel”.

A zajspektrum ismert (3.6.1) formuláját elemezve a szerző közelítő formulákkal határozza meg a termisztor ill. bolométer konfiguráció mérésének bizonytalanságára kis ill. nagy relaxációs időkre. Az eredmények hitelesek, az azokat rögzítő 2.3. tézist új tudományos eredménynek elfogadom.

Az eredmények felhasználásával levonja a következtetést, hogy platina és szilícium alapú mikroméretű termikus ellenállások esetén a termikus zaj domináns a nagysebességű mérések esetén. Az ezt rögzítő 2.4. tézist új tudományos eredménynek elfogadom.

III. A termooszlop

Az értekezés 4. fejezete és a 3. téziscsoport foglalkozik a termoelektromos hatáson alapuló mérési módszerekkel.

A vizsgálat itt is a zajforrások elemzésével kezdődik. Szerző plauzibilissé teszi, hogy a termikus zajon kívül a hőmérséklet fluktuációból származó fononzaj játszhat szerepet a mérés bizonytalanságában. Bebizonyítja, hogy a fononzaj-termikus zaj hányadosa pesszimális esetben is

$$M = \frac{S^2}{L},$$

ahol S a Seebeck együttható, L pedig a Lorenz szám. (A képlet a téziszűzetben helytelenül szerepel.) A fonon zaj elhanyagolható, ha $M \leq 1$. Tiszta fémek, sőt használt ötvözetek esetén ez az egyenlőtlenség fennáll, a figyelembe veendő zaj a termikus zaj. Félvezetőknel, nevezetesen a szoba jövő egykristályos és polikristályos Si esetén is fennáll az egyenlőtlenség.

Ezt a felismerést rögzíti a 3.1. ill. 3.2. tézis. Ezeket a téziseket új tudományos eredménynek elfogadom.

A 4.3. és 4.4. szakasz a mikrogépészeti eljárással kialakított termooszloppal foglalkozik. Az ezzel kapcsolatos tézispont az eddigi számításokban mostohán kezelt hidegpont méretezésével foglalkozik. Szellemes, ahogyan a geometriára támaszkodva egyensúlyi állapotra passzív távvezetékkel modellez. Elfogadható közelítéssel meghatározza a távvezetékellenállások paramétereit és ezzel jó becslést ad a hidegpont egyensúlyi hőmérsékletére. A modellből kiadódik, hogy a hővezetésben a SiN_x réteg (lényegében a membrán) a meghatározó.

A fentieket a 3.3. tézis rögzíti, amit új tudományos eredménynek elfogadok.

A 4.5. szakasz egy kíváló konstruktőrre utaló ötletet, ill. annak kezdeti megvalósítását ismerteti. A termopárok rövid hurkokat alkotó konstrukcióját hosszú egyenes szakaszokkal helyettesíti. Ezáltal a hosszú vezetékek nagyobb, THz nagyságrendű frekvencián antennaként viselkednek. A kialakított termopárok az „antennák” árama által gerjesztett hó hatását mérik. A dolgozat ismerteti a működésre vonatkozó kezdeti elképzeléseket, néhány mérést. Az

eszközre a dolgozat megírásakor érvényes volt a következő állítás: „Az elért tevékenység összevethető az irodalomban közöltekkel, amelyeket más szerkezeteken értek el.” A szerző szerint: „az érzékenység növelésének még bő tartalékai vannak”, de: az érzékenységre vonatkozó kérdések tisztázása még „hátra van”.

Az eredményt rögzítő 3.4. tétel leírja az eszközzel kapcsolatos igénypontot. A konstrukció és működési elv kétségtelenül újdonságértékű. A tétel teljesítményét azonban gyengíti, hogy a működés egyes részletei, a konstrukció optimalizálása még további vizsgálatokra szorul és az eszköz jelenleg nem szignifikusan jobb az irodalomból ismert eszközöknél.

3., Így ezzel a tétissel, ill. a THz-es termooszloppal kapcsolatban kérem, hogy a szerző ismertesse az erre vonatkozó, az értekezés lezárása óta született eredményeket a tétel értékeinek finomabb megítélés céljából.

A szerző a téziseket kellő mennyiségben és megfelelő minőségben publikálta.

Az értekezésben leírt eredmények gyakorlati felhasználásra kerültek.

Összefoglalva: az értekezés 1.2.; 1.4.; 2.1.; 2.3.;3.1.; 3.2. és 3.3. tételét új tudományos eredményként elfogadom. A többi tétel vagy nem tudományos jellegű, vagy nem eléggé megalapozott, de nem hiteles állítást egyik sem tartalmaz.

Az új tudományos eredmények elegendőek a jelölt tevékenysége megítéléséhez és megalapozzák a tétel ill. a disszertáció nyilvános vitára bocsátását és a bíráló véleménye szerint a tudomány doktora cím odaítélését is.

Budapest, 2013. május 10.

Zombory László
a műszaki tudomány doktora