

Augusztinovicz Fülöp: Rezgésakusztikai rendszerek diszkrét és modális modellezése, különös tekintettel a környezeti zajok optimális csökkentésére c. MTA doktori értekezésének bírálatára

Az értekezés rendkívül aktuális kérdéskörrel foglalkozik. A technika rohamos fejlődésével együtt jár a zajnak, mint a környezetszennyezés egyik ágának rohamos növekedése (közlekedés, gépek, szórakoztató elektronika, stb.). A zaj elleni védekezés az emberi egészség megóvása szempontjából egyre fontosabbá válik.

Az értekezés tézisei az általánosabb kérdésektől a speciális felé haladnak.

1 A tézisek

1.1 I.1.

Ebben a tézisben a szerző a koncentrált paraméterű akusztikus Helmholtz egyenlet és a diszkrét mechanikai rendszerek Helmholtz egyenlete közötti analógiára mutat rá. Ez az analógia minden rezgéstannal foglalkozó kutató számára nyilvánvaló, így új tudományos eredménynek nem fogadom el. Megjegyzendő, hogy a koncentrált paraméterű modellezés (folytonos változóban gondolkodva) kizárólag egyváltozós esetben használható. A bemutatott példából nem látom bizonyítottnak azt sem, hogy az egyenlet minden esetben a megadott alakú lesz. Nem tartom helyesnek, hogy a szerző a Helmholtz egyenletet a (diszkrét) akusztikai rendszerek alapegyenletének nevezi, mert az alapegyenlet alatt általában az alapvető fizikai tartalmat (anyagmegmaradás, impulzusmegmaradás) kifejező egyenletet értünk.

1.2 I.2.

Ebben a tézisben a szerző a koncentrált paraméterű akusztikus modell és az akusztikus végelem modell azonosságát állítja.

Ha olyan példát választunk, mint a 2.5. ábra szerinti, akkor az akusztikai tömegek és akusztikai kapacitások jól elkülönülnek és természetes, hogy a végelem módszer és a diszkrét akusztikus rendszer azonos eredményre vezet. Olyan példa esetén, amikor a tömeg és kapacitás folytonosan megy át egymásba, önkényesen kell őket szétválasztani. Ha az akusztikus modellnél és a végelem

módszernél azonos határokat választunk, ismét csak triviális a két egyenlet azonos alakja. Fentiek alapján a tézis nem fogadom el.

1.3 II.1.

Ebben a tézisben a szerző levezeti a folytonos változóra értelmezett Green függvény sajátfüggvények szerinti végtelen sorának diszkrét megfelelőjét. Ez az előállítás régóta ismeretes és Hilbert teres szemlélettel egészen nyilvánvaló. l. például Morse-Feshbach, I. köt, 869. old. A tézist nem fogadom el.

1.4 II.2.

A mechanikai móduselemzéshez hasonló módon, a szerző a módus paramétereket a transzfer impedancia mátrixból határozza meg. Látszólag ez is egyszerű átvétel, de a szerző úttörő munkát végzett a szükséges gerjesztések és detektorok realizálási lehetőségeinek vizsgálatával. Az ismert térfogatsebességű forrásnak kellő hangteljesítménnyel kell rendelkeznie, ugyanakkor jelenlétével számottevően nem befolyásolhatja a hangteret. Erre a célra kisméretű, zárt dobozos, megfelelő frekvenciamenettel rendelkező elektrodinamikusan hangszugárzót javasol.

A tézist új tudományos eredményként elfogadom.

1.5 II.3.

Az értekezés gyakran használja a Nyquist diagram kifejezést helyfüggő komplex számoknak a helykoordinátával paraméterezett ábrázolására. Én e helyett a vektorábra elnevezést használom (l. az Elméleti Villamosságban 12. kiadásában a 3.113, 3.115, 3.118/a és 3.118/b ábrákat). A villamosmérnöki irodalom a Nyquist diagram alatt kizárólag átviteli karakterisztikának frekvenciával paraméterezett ábrázolását érti.

A tézis vizsgálatához felhasználhatjuk a villamos távvezetékek elméletét. Az egy szabadságfokú akusztikus tér és a villamos távvezeték közötti analógia sajnos csak ideális vezeték esetén érvényes, mert a villamos távvezetékek Helmholtz egyenletében veszteség esetén sem szerepel a helykoordináta szerinti első derivált.

Az ideális villamos távvezeték háromféle állapot létezhet: 1.) Illesztett lezárásnál, vagy végtelen hosszú vezetéknel haladó hullám. A szinuszgörbe egyenletesen csúszik a tengely mentén. Ennek vektorábrája kör. 2.) Tiszta reaktáns lezárásnál (beleértve a rövidzárat és a szakadást is) állóhullám. A helyfüggvényt megadó görbét az időtől függő szinusz szorozza, tehát az időbeli változás minden helyen azonos fázissal történik. Ennek vektorábrája az origón átmenő egyenes. Az akusztikai irodalomban ezt szokás a vektorábra alapján kollineáris módusnak nevezni. 3.) Komplex vagy tiszta ohmos lezárásnál olyan eloszlás jön létre, amely sem nem álló sem nem haladó hullám, hanem a kettő összege. A haladó hullámra emlékeztet annyiban, hogy a zérushelyek elmozdulnak, állóhullámra pedig annyiban, hogy a csúcserők a hely függvényében nem állandó. Az egyes helyeken a lengés más-más fázissal történik. A vektorábrája origó középpontú ellipszis. Az akusztikai irodalomban komplex módusnak szokás nevezni.

A fentiek alapján megállapíthatjuk, hogy szerző a mérési eredmény 3.7.a és b ábráját helyesen értelmezi. Az a ábra időfüggése minden pontban nagyjából

azonos fázisú lengést ad, a b ábra időfüggése mutatja az amplitúdó helyfüggését és a csomópontok csúszkálását. A c ábra időfüggése a második és harmadik félszínusznál csomópont csúszkálást ugyan nem mutat, de fázisazonosságot sem, a negyedik félszínusz átmeneti időfüggést jelez, az első és ötödik határozottan csomópont csúszkálást mutat. Bár itt a veszteség miatt a villamos analógia már nem használható, számomra ez a hullámkép értelmezhetetlen.

A tézis kifejtésében a szerző az egyenletes csillapítás hatására létrejövő módot hol állóhullámnak, hol pedig haladóhullámnak tekinti. (Feltételezem, hogy a hangelyelő csík a Kundt cső falán helyezkedett el, tehát a mérés is felületi csillapítás mellett történt.) Megjegyzem továbbá, hogy a 3.8. ábra krikszkrakszai nem értelmezhetők.

A tézist abban az esetben fogadom el, ha a szerző a fenti ellentmondást feloldja.

1.6 III.1.

A szerző bebizonyította, hogy a rezgésakusztikai rendszereket leíró diszkrét egyenletek aszimmetriája nincs ellentmondásban a reciprocitási tétellel. Ez a tétel mind elvi, mind gyakorlati szempontból nagy jelentőséggel bír. Alátámasztja az átviteli karakterisztika mérésén alapuló módusmeghatározás módszerét. A gerjesztés és válasz felcserélése igen gyakran előnyös és a szerző IV. tézisének alkalmazásánál, valamint a repülőgépek utasterében és a 4.1. ábra modelljén végzett méréseknél is szerepet játszik.

Mint jelentős új tudományos eredményt a tézist elfogadom.

1.7 III.2.

Kísérletileg is igazolta a III.1. tézis azon következtetését, hogy a rezgésakusztikai rendszerek modális modellje független attól, hogy a gerjesztés a mechanikai vagy az akusztikai részrendszer felől történik-e. A kísérleti verifikáció egy egyszerű rendszeren, az átviteli karakterisztikák összehasonlításával történt meggyőző eredménnyel.

A tézist elfogadom.

1.8 IV.

Hangsugárzók terének numerikus meghatározására új számítási módszert vezetett be. A jelenlegi módszerek (elsősorban a peremelem módszer) számításgénye nagy és a felületi rezgésebességre, mint peremfeltételre nincsenek részletes adatok. A szerző az energia szerint ekvivalens helyettesítő monopolusok alkalmazásával dolgozott ki numerikus módszert. A módszer pontosságát nagymértékben fokozza, hogy a monopolusok térfogatsebessége és a távolférf hangnyomás közötti átviteli függvényt a reciprocitási elv felhasználásával határozza meg.

A tézist jelentős új tudományos eredményként elfogadom.

1.9 V.1.

A tézis állítása szerint csatolt rezgésakusztikai rendszerek modális viselkedése a csatolatlan részrendszerek módusainak összegezésével nyerhető. Az összegezésben azok a módusok szerepelnek jelentős súllyal, amelyek a határfelületen

geometriai hasonlóságot mutatnak. Ez az állítás meglehetősen triviális, nem tekintem új tudományos eredménynek.

1.10 V.2.

Ismeretes, hogy főképp a járműiparban alkalmazott közelfekvő zajcsökkentő tokozások tervezése több okból is nehéz. A belsőégésű motorok felületi rezgésállapota nem határozható meg a numerikus módszereknél szükséges pontossággal. A forrás és az árnyékoló szerkezet kis távolsága miatt visszahatás következhet be a rezgési állapotra. Ebben a tézisben a szerző eredeti és fontos megállapításokat tesz a zajcsökkentő tokozásokkal kapcsolatban. A részleges közelfekvő tokozások hangelnyelő burkolat nélkül nem csökkentik a lesugárzott hangenergia mennyiségét, sőt meg is növelhetik azt. A szerző által bevezetett energia egyenértékű hangforrások módszere alkalmas tokozási problémák vizsgálatára.

A tézist elfogadom.

Bár 7. fejezete nem tartalmaz tézist, a benne szereplő rendkívül sokféle megoldott feladat bizonyítja, hogy a szerző a hazai rezgésakusztika kiemelkedő művelője.

2 További megjegyzések

10. old. “az egyszerűség kedvéért...komplex amplitúdóknak tekintve” Hiányolom, hogy nincs jelölésben megkülönböztetve az időfüggvény és a komplex amplitúdó. Ha egy egyenletben $j\omega$ szerepel, akkor abban időfüggvény már nem lehet (1.(2.3a)).

23. old. Helyesen: $p(x, t) = \text{Re}[pe^{j\omega t}(ae^{-jkx} - be^{jkx})]$

23-24. old. A lezárás okozta veszteséget nem lehet az ideális távvezeték nyakába varrni. Leghelyesebb, ha a komplex k -t be sem vezetjük, k helyébe $\text{Re}[\omega]/c_0$ -t írunk. A komplex ω -t az $e^{j\omega t}$ -be helyettesítve *időbeli* csillapodást kapunk. Ebből az is következik, hogy a (3.9) formula nem alkalmazható és a 3.2.c. ábra hibás.

24. old. utolsó mondat “haladó hullámkép”, a 3.5.2.-ban állóhullámnak tekinti.

26. old. Helyesebb lenne már (3.10)-ben is $g(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0, \omega)$ -t írni és akkor a (3.11) és (3.14) nem lenne hibás. Ugyancsak hibás a (3.12).

36. old. 3.6. ábra. A görbék csökkenését a frekvencia függvényében nem lehet megmagyarázni a távvezeték veszteséges voltával, mert az átviteli karakterisztika rögzített helyen kerül kiszámításra. Az ábra frekvenciával növekvő veszteség esetén értelmezhető.

36. old. utolsó mondat. Úgy tűnik, hogy a szerző komplexnek nevez minden módust amelynek vektorábrája kilép a valós tengelyből. Pedig a kollineáris módusok hullámképe nem különbözik lényegesen, akár beleesnek a valós tengelybe, akár nem. A komplex módus definícióját l. a II.3. tézishez fűzött megjegyzéseimnél.

3 Formai megjegyzések

Az értekezés gondos munka szépen eltervezett tipográfiával. Ábrái is szépek. Az irodalmi források megadásánál nem mindig következetes. Pl. a [136] és [137]

formailag különböznek, [217]-ben és [220]-ban ki van írva a keresztnév, [152]-ben kiírja a Journ.-t, a kötettszámok megadása is szeszélyes. Nem értem, miért fontos a [104]-hez írt zárójeles megjegyzés.

4 Összefoglalás

Megállapítható, hogy az értekezés jelentős eredeti tudományos eredményekkel gyarapította a rezgésakusztikai rendszerek elméletét és gyakorlatát. Az értekezés a II.3. tézis és annak kifejtése kivételével hiteles adatokat tartalmaz.

- 1. a nyilvános vita kitűzését**
- 2. a mű elfogadását javasolom.**

Budapest, 2013.április 2.

Veszely Gyula
a műszaki tudomány doktora