

Bírálat

Kollár E. László

Távvezetékek lengése szélsőséges időjárási körülmények között (Vibration of Conductors under Extreme Weather Conditions)

című doktori munkájáról

1. A dolgozat témája

A dolgozatban tárgyalt problémák műszaki szempontból igen jelentősek. A magyar elektromos hálózat fejlesztése nagyon fontos, az időjárási szélsőségek, a klímaváltozás következményeként, egyre gyakoribbá válnak. A 4. Fejezet (Vibration suppression of transmission line conductors) témáját különösen kiemelőnek tartom, az aktív rezgéscsillapítás távvezetékekre történő alkalmazása új, és nagyon időszerű kutatási terület.

2. Formai észrevételek

A dolgozat 106 oldal terjedelmű munka angol nyelven. Fényképek, ábrák, grafikonok és táblázatok illusztrálják a szöveget. Tartalomjegyzék, öt fejezet és irodalomjegyzék szerepel benne. A dolgozat végén az irodalomjegyzék 133 számozott hivatkozást tartalmaz. A jelölt 6 tézisben foglalja össze tudományos eredményeit, ezek a 2. 3. 4. fejezet végén „New results” alcímmel szerepelnek. A tézisek áttekintését nagyon megnehezíti, hogy igen terjedelmesek, nehézkesen megfogalmazottak, sok esetben több oldalasak. Számomra szimpatikusabb, és könnyebben értékelhető lett volna az egyes tézisek rövidebb, célratörőbb megfogalmazása. Az értékelés megkönnyítésére, a részletes bírálatban, elsősorban a magam számára, megkíséreltem néhány tézis összegzését. Ezt dőlt betűkkel a bírálatba beírtam, és a tézisekről leírt véleményem kialakításában nagymértékben erre támaszkodtam.

3. A dolgozat felépítése, részletes bírálat

Az első fejezet bevezetés, itt szerepel a dolgozatban részletesen tárgyalt témák és kérdések felvetése. Az első alfejezete a kutatások motivációjával, és a szakirodalom rövid áttekintésével foglalkozik. Ezután következik (1.2 alfejezet) az értekezésben taglalt kutatások célja. A dolgozat szerkezetét és az egyes fejezetek tartalmát is megismerhetjük belőle. A munka lényegi részét a második, a harmadik és a negyedik fejezet adja.

A második fejezet a távvezetékeken jégfelhalmozódást okozó (csepp-)felhők jellemzőivel foglalkozik. A bemutatott kutatás bináris cseppütkezésekre összpontosít, az ütközés kimenetelét bemutató 2.2 ábra egyes tartományai közötti átmenet elméletét dolgozza ki. Ezt követően elméleti és kísérleti módszereket mutat be a cseppek mozgására és a cseppméret-eloszlás (droplet size

distribution: DSD) aeroszolfelhőkben való evolúciójára vonatkozóan. Az elméleti modellt a dolgozat szélcsatorna-kísérletekkel validálja, a számított és mért eredményeket összeveti. A fejezethez kapcsolódóan, új tudományos eredményként, az értekezésben megfogalmazódik az 1. és 2. Tézis. Sajnos az eredmények újszerűségének megítéléséhez szükséges, az aeroszollokkal kapcsolatos, áramlástan és fizikai ismeretek kívül esnek a szakterületemen. Az értekezés szövege sem ad ebben jelentősebb segítséget. A fejezetben nagyon sok idegen szakirodalmi hivatkozás van, és számomra nehéz a jelölt saját eredményeinek és a szakirodalomból ismertek szétválasztása. Az elméleti modellre alkalmazott, a 2.3.3. alfejezetben leírt, számítási eljárás jól követhető. Az elvégzett kísérletek leírása (2.4 alfejezet) világos, az eredmények bemutatása és értékelése jól áttekinthető. Ezért, amennyiben a védés során az aeroszollok fizikájának szakértői pozitívan nyilatkoznak, a tézisek elfogadását javaslom.

A harmadik fejezetben összefoglalt kutatások a távvezeték jég leválása utáni rezgéseinek vizsgálatát célozzák. A szakasz elején röviden szó esik a szél által kiváltott rezgésekről, azonban ez nagyon vázlatos. Kicsit furcsa ez annak tükrében, hogy az értekezés címe (Távvezetékek lengése szélsőséges időjárási körülmények között) alapján a viharos szél, mint a legkézenfekvőbb „szélsőséges időjárási körülmény”, hatásának vizsgálatára mindenképpen számíthatunk. További érdekesség, hogy a távvezetékek kritikus lengéseinél klasszikusan sokat vizsgált galoppozás (galloping [41], [121]), bár többször említésre kerül, mégsem tárgya a doktori műnek. Talán az értekezés címét szerencsésebb lett volna a jegesedésre fókuszáltan megfogalmazni.

Az értekezés a 3.1.3. alfejezettől a jég leszakadásának hatására kialakuló rezgésekkel foglalkozik. A vezeték véges elem módszerrel, két csomópontos izoparaméteres rácsos elemekből felépítve számolta. A távtartók, a vezeték, a jégteher és jég hullás, az anyagcsillapítás és a közegellenállás hatása mind beépül a modellbe.

Elsőként, miként ezt a 3. Tézis szövegében szerepel, kötegelt vezetékeken, a jég-lehullás dinamikus hatásainak vizsgálatára alkalmas numerikus modell fejlesztése történik. Ennek részletes leírása és vizsgálata, valamint az eredmények bemutatása (3.2, 3.3, 3.4 ábra) és értékelése szerepel a 3.2 alfejezetben. A kutatás eredményeit a fejezet végén a **3. Tézis** fogalmazza meg: *numerikus modellt fejlesztett ki a vezetőkötegekből származó jéglehullás dinamikus hatásainak szimulálására, úgy, hogy egy meglévő modellt javított nemlineáris rugalmas tulajdonságokkal rendelkező távtartó modell bevezetésével. A távtartók számának növelése csökkenti a vezető ugrási magasságát a terheletlen helyzet felett, de a köteg elfordulását nem. A páros távtartók nagyobb maximális esést eredményeznek a terheletlen pozíció alá, míg a páratlan távtartók minimális eltérést mutatnak. Több alvezető csökkenti a rezgés erősségét. A vezetékek mechanikai feszültsége valamivel alacsonyabb az egyes vezetőknél rezgés közben. Az ugrás magassága és esése közelíthető a jégvastagság és a távtartó távolság teljesítményfüggvényeiként.*

Sajnos a tézis eredeti szövege nagyon részletezve adja meg az eredményeket, ami nem könnyíti meg annak megállapítását, hogy mi is a legfontosabb új felismerés. Ugyanakkor nem világos, hogy mi a szerepe a 3.3.1 alfejezetben részletesen ismertetett kis minta kísérletnek a tézisek szempontjából. A 3.3.2 és a 3.3.3 alfejezetek megemlítik, hogy a jelölt által elvégzett kis minta kísérlet (a szakirodalomból átvett nagy minta kísérlettel együtt), a numerikus modell validálásában játszik szerepet (3.5, 3.6, 3.7 Táblázat, 3.8, 3.9 Ábra). Talán szerencsésebb lett volna, a tézisekben szereplő új eredmények bővebb megfogalmazása után, azokat röviden összefoglalt alakban (ez lehetett volna a „tézis”) leírni. Így a kísérleti eredmények is bekerülhettek volna a bővebb megfogalmazásba. Mindezen megjegyzések mellett, **a tézist elfogadom.**

A 3.4 alfejezet a jég leválása által okozott vertikális rezgések numerikus szimulációját tartalmazza, illetve annak eredményeit hasonlítja össze a szakirodalomban szereplő nagyminta kísérlet eredményeivel. Az előző szakaszok numerikus modelljét továbbfejleszti azért, hogy szimulálhassa a jég hullás terjedését egyetlen vezetőn és több, fázisközi távtartókkal összekapcsolt, vezetőken. A jég lehullásának folyamatára három modell használ.

Az eredmények a **4. Tézis**ben kerülnek kimondásra: *a szimulációs eredmények azt mutatják, hogy a fázisközi távtartók használatával körülbelül felére csökkenthető a vezetők visszapattanási magassága a terhelt helyzetük felett. A különböző leválási jelenségeket összehasonlítva azt találtuk, hogy egyetlen vezető esetén nincs jelentős különbség a visszapattanási magasságok között a terjedő leválás és a hirtelen leválás között. A visszapattanási magasság azonban 10-30%-kal magasabb a terjedő leválás után, amelyet hirtelen esés követ. Az interfázisú távtartókkal (interphase spacers) összekapcsolt vezetőknél a terjedő leválást és a hirtelen esést követő visszapattanási magasság is 10-30%-kal magasabb, mint a terjedő leválás önmagában, és további 10-30%-kal magasabb a hirtelen leválás után.*

A tézist elfogadom.

A negyedik fejezet az aktív rezgéscsillapítás lehetőségeivel foglalkozik. A 4.1.1 alfejezetben bevezetésre kerül a vizsgálatokban alkalmazott modell, egy egyszerű két szabadságfokú rezgőrendszer (4.1 Ábra). A benne szereplő rugómerevség származtatása, ha jól értem, a szakirodalomból átvett (4.1), (4.2), (4.3) és (4.4) képletekből történik. **Kérem a jelöltet, hogy vázolja, hogy hogyan jutunk ezekhez a képletekhez (1. kérdés). Kérem továbbá, hogy részletezze, miként számolja c_1 és m_2 paramétereket (2. kérdés).**

Kérem a jelöltet, hogy vázolja, hogy hogyan jutunk a (4.5), (4.6) és (4.7) képletekhez (3. kérdés), melyeket az m_1 és a k_2 értékek számításához használ.

A rendszer vertikális gerjesztését a (4.8), (4.9) képlet szerint a szél okozza. A továbbiakban a dolgozat a vertikális rezgésekre koncentrál.

Miért hagyható figyelmen kívül a horizontális rezgés (4. kérdés)?

Megjegyzem, hogy a „horizontális” és a „vertikális” jelzők helyett szerencsésebb lett volna egy ábra a vezeték és az x , y , z koordináta-rendszer rajzával.

A 4.1 Ábrában u -val jelölt aktuátor szabályozó erőt fejt ki az m_1 és m_2 testek között. Ennek az erőnek a nagysága a (4.10) képlettel, illetve a (4.14) mintavételezett PD szabályozási törvény szerint változik. Ha jól értem ezt az aktuátort hívja a dolgozat rezgéscsillapítónak (vibration absorber).

A (4.13) képlet a szöveg szerint (66. oldal) mozgásegyenlet. Kérdezem, hogy itt mi áll a bal és a jobb oldalon (5. kérdés).

A 4.1.2 alfejezet egy rezgésszabályozási modellt mutat be, amely figyelembe veszi a vezető nemlineáris rugalmas tulajdonságait. A modellt úgy tervezték, hogy hatékonyan csökkentse a nagy amplitúdójú rezgéseket azon a ponton, ahol az abszorber csatlakozik a vezetékhez. A rendszer mechanikai viselkedésének validálása magában foglalja a vezetőre gyakorolt koncentrált terhelés felvitelének és eltávolításának szimulálását. Ennek során az adódó eredményeket összehasonlítja a, kísérleti eredményeket jól visszaadó, végeselem-modell számítási eredményeivel. A 4.1-4.2 alfejezetekhez kapcsolódik az **5. Tézis**: *egy aktív szabályozó elem hatékonyan csökkenti a vezető rezgését az alkalmazási pontján. A rendszer két szabadságfokú modelljében a paraméterek meghatározása a kábel statikai/dinamikai elmélete, geometriai és anyagtulajdonságok, valamint véges-elemes modellezésből és kísérletekből származó rezgési jellemzők segítségével történik. A modell a szélhatásokat periodikus gerjesztésként kezeli, és figyelembe veszi a digitális vezérlésből adódó időkéseket. A módszer jelentősen csökkenti a kezdeti csúcsot és a nagyfrekvenciás, alacsony amplitúdójú rezgést. A digitális vezérlés késleltetése azonban korlátozza a hatékonyságot,*

ha a gerjesztési frekvencia meghaladja az 50 Hz-et. A vezető nemlineáris rugalmas viselkedésének figyelembevétele tovább javítja a szabályozási hatékonyságot. A szimulációs eredmények a kezdeti csúcsrezgés szignifikáns csökkenését mutatják a jég hullást követően, a kontroll kétharmadával csökkenti a csúcsot a kontroll nélküli állapothoz képest, és a felére a csillapítás nélkülihez képest.
A tézist elfogadom.

A 4.3 alfejezet feltételezi, hogy a vezérlő erőt egy motor biztosítja mechanikus meghajtással, és a motor hajtásakor holtjáték lép fel. **Kérdezem, hogy milyen konkrét gépészeti konstrukcióra gondol a jelölt ebben az esetben (6. Kérdés).**

A szakasz a célja a korábban (4.1 alfejezet) bemutatott modell továbbfejlesztése a mintavétel által kiváltott időkésltetés és a hajtómechanizmus holtjátékának beépítésével. Célja továbbá, hogy felvázolja az ilyen rendszerekben a hatékony rezgés csökkentéséhez szükséges feltételeket periodikus gerjesztés mellett, és elemezze az ebből eredő mozgási jellemzőket. Ennek megfelelően tárgyalja a mechanikai modell újszerű aspektusait, és nagy hangsúlyt fektet a szabályozott rezgésrendszer stabilitásvizsgálatára, valamint az eredő mozgások jellegére. A vizsgálatok elvégzése után elért eredményeket fogja össze a **6. Tézis**:

Digitálisan vezérelt, szakaszonként lineáris rendszerekben az aktív rezgésszabályozás hatására szabálytalan mozgás léphet fel a mintavételezési késleltetés és a hajtás holtjátéka miatt. A szabálytalan mozgás általában periodikus vagy kváziperiodikus. A közeli pályák nem közelítik egymást, a pályák nem sűrűek, és a topológiai tranzitivitás sem kielégítő. Az összes Ljapunov-exponens nullánál kisebb. Megfelelő szabályozási paraméterekkel, mintavételi idővel és holtjáték értékekkel azonban gyakorlatilag elkerülhető a kiszámíthatatlan mozgás. A kis mintavételezési késleltetések kulcsfontosságúak a hatékony vezérléshez, és a holtjáték gyors motorirányváltást tehet szükségessé. A 0,1 mm-es vagy kisebb holtjáték minimális hatást fejt ki, de szabálytalan mozgások fordulnak elő 1 mm körüli holtjátéknál.

A tézist elfogadom.

4.Összegzés

A dolgozat témája időszerű, eredményei a műszaki alkalmazások tekintetében jelentősek. A kidolgozás igényes. A megfogalmazott 6 tézisből *négyet (3, 4, 5, 6) minden további fenntartás nélkül elfogadok*. Két tézis (1, 2) részben túlmegy a szakmai kompetenciámon, de az igazolásban szereplő *szimulációs és kísérleti eredményeket elfogadom*. Amennyiben a területen szakértő kollégák a tézis további vonatkozásaival egyetértenek, ezeket is *elfogadásra javaslom*.

A jelölthöz 6 kérdést fogalmaztam meg, ezekre válaszát kérem.

A doktori munka tudományos eredményeit elegendőnek tartom az MTA doktora cím megszerzéséhez, a nyilvános védés kitűzését javaslom.

Budapest, 2024. május 2.

Béda Péter
az MTA doktora