Válasz Dr. Lantos Béla professzor úr bírálatára

Mindenekelőtt szeretném megköszönni Dr. Lantos Béla professzor úr bírálatát, értekezésem alapos átolvasását, valamint támogató véleményét. A bírálatban megfogalmazott kérdéseire válaszaim a következők.

Kérdés: *A 3. tézis eredményei 5 helyen lettek publikálva. Ebből 4 helyen szerepelnek társszerzőként MTA doktora fokozattal rendelkező kutatók is. Kérem elhatárolni a 3. tézisen belül az első szerzős publikációi körében a saját eredményeit a társszerzőkétől.*

Válasz: A szóban forgó négy publikáció (az értekezésben használt számozást követve) [131], [132], [133], illetve [144], ezek közül [144] nem első szerzős.

A szóban forgó MTA doktora fokozattal rendelkező kutatótársaimmal (Hangos Katalin és Szederkényi Gábor) hosszú ideje fennálló, eredményes közös kutatómunka folyik, amelyből számos, az értekezésben nem szereplő eredmény is született. Ebben a kutatócsoportban az én kompetenciám a nem standard optimalizálási feladatok kitűzése, és az alkalmazási feladatok sajátosságaihoz illeszkedő hatékony optimalizálási módszerek kifejlesztése és implementálása, valamint a kvázipolinomiális rendszerosztály dinamikus analízis és szabályozótervezési módszereinek fejlesztése és vizsgálata: ezen tevékenységek eredményeit foglaltam össze a 3. tézisben. Az egyes publikációkban a saját hozzájárulásaimat részletesen az alábbiakban foglalom össze.

A [131] anyag egy konferenciacikk, amelyben Lotka-Volterra modellel leírt folyamatrendszerekre kvadratikus Ljapunov függvény alapú stabilitásvizsgálatát, illetve stabilitási tartományának becslését szintén meg lehet fogalmazni lineáris mátrixegyenlőtlenség formájában. A cikk további eredményeket tartalmaz arról, hogy egy diagonális súlyozómátrix bevezetésével a kvadratikus stabilitásvizsgálat eredményei jól használhatók a rendszer Hamiltoni leírásának konstrukciójára. Ez utóbbi eredmények szerzőtársaimhoz köthetők, és nem szerepelnek a jelen értekezésben.

A [132] anyag szintén egy konferenciacikk, amelyben a 3.tézis (a) részében kimondott stabilitásvizsgálati eredmények jelentek meg. Az ebben a munkában javasolt kvázipolinomiális és Lotka-Volterra rendszerek input-affin kiterjesztései a saját eredményem, melyek megalapozzák a 3. tézis (b) részében bemutatott stabilizáló visszacsatolás-tervezést. A szintén az ebben a munkában megjelenő idő-átparaméterezés transzformáció bevezetése és alkalmazása Lotka-Volterra rendszerek globális stabilitásvizsgálatában társszerzőim nevé-

hez köthető. Ezzel a transzformációval a Lotka-Volterra rendszerekre felírt lineáris mátrixegyenlőtlenséghez az időátparaméterezés transzformáció paramétereinek formájában új változóhalmazt adunk hozzá, ezzel a probléma ugyan bilineáris mátrixegyenlőtlenséggé fajul, de nagyobb eséllyel bizonyítható a globális stabilitás bizonyos esetekben. Szintén szerzőtársaim eredményének tekinthető a globális stabilitás és a vizsgált rendszer lokális Hamiltoni leírása közti kapcsolat vizsgálata. Az idő-átparaméterezéssel és a Hamiltoni leírással kapcsolatos eredmények nem szerepelnek a jelen értekezésben.

A [133] folyóiratcikk a 3. tézis (b) részében kimondott eredmények első publikált változata. Saját eredményeim ebben a visszacsatolás alakjának megválasztása, a globális stabilitásvizsgálat és a visszacsatolás tervezés együttes felírása egy bilineáris mátrixegyenlőtlenségként, valamint az értekezésben is szereplő iteratív LMI algoritmus alkalmazása a kapott bilineáris mátrixegyenlőtlenség megoldására. Szerzőtársaim eredménye az input affin kvázipolinomiális rendszermodellben alkalmazott bemeneti struktúra és a folyamatrendszereknél előforduló input tagok közti kapcsolat kidolgozása, valamint a cikkben javasolt kontrol-Ljapunov függvény alapú szabályozás kimenet performanciabecslésének felírása LMI megoldhatósági problémaként, illetve a performancia kimenet megválasztása. Ez utóbbi eredmények nem szerepelnek az értekezésemben.

A [144] folyóiratcikk ugyan nem első szerzős, de a teljesség kedvéért fontosnak tartom megjegyezni, hogy ebben a munkában a 3. tézis (a) részében kimondott lineáris mátrixegyenlőtlenség formában megfogalmazott stabilitásvizsgálati eredmények általánosítása szerepel, ez a [132] kapcsán már ismertetett idő-átparaméterezési transzformáció és az ezzel kapcsolatos bilineáris mátrixegyenlőtlenség. Ez szerzőtársaim eredménye, a cikk kontribúciója nem szerepel a jelen értekezésben. Mivel az anyagban kiindulási alapként jó összeszedve szerepel a kvázipolinomiális és Lotka-Volterra rendszerek entrópiaszerű Ljapunov függvényen alapuló aszimptotikus stabilitásvizsgálatához köthető lineáris mátrixegyenlőtlenség, hasznosnak tartottam megjeleníteni a tézis mellett.

Kérdés: *A 3. tézis témájában hosszú fejlődés tapasztalható napjainkkal bezárólag, lásd a hivatkozott publikációk az értekezés számozása szerint, pl. a [16] (ILMI), vagy a [41] (QP rendszerek) régebbi publikációk. Melyek a főbb változások az előzmények és a jelölt saját eredményei között ebben a folyamatban? Várhatók-e újabb eredmények és numerikus technikák abban a tekintetben, hogy a kimenet-visszacsatolás esetén a zárt rendszer egyensúlyi pontja ne kiadódó érték legyen, hanem eltolható az alapjelnek megfelelően a nyílt pozitív ortánsban a globális stabilitás érdekében és/vagy csökkenteni lehessen a zavarójel hatását?*

Válasz: Az iteratív LMI alapú stabilizáló visszacsatolás-tervezéshez tartozó egyensúlyi pont korrekciós lépés terén érdemi továbblépés ezidáig nem történt, ez valóban egy nyitott kutatási kérdés.

Hasonló kiaknázatlan lehetőségek rejlenek a szabályozás robusztusságának, illetve performanciájának vizsgálatában, illetve tervezhetőségében. A stabilitásvizsgálat és a visszacsatolás-tervezés kapcsán felírt LMI, vagy BMI problémák megoldhatósági (feasibility) problémák. A megfelelő LMI, illetve BMI problémák költségfüggvényének jól átgondolt megfogalmazásával véleményem szerint lehetőség nyílna további fontos eredmények kidolgozására ezen a téren.

Egy másik érdekes kérdés kvázipolinomiális rendszerek esetén a szabályozóstruktúra (azaz a visszacsatolt kvázimonomiális kifejezések) kiválasztása, ami nagyban befolyásolhatja a visszacsatolt Lotka-Volterra rendszer dimenzióját, így a megoldandó numerikus problémák méretét, ezáltal szintén rengeteg lehetőséget tartogat.

Az értekezésben szerepeltetett kvázipolinomiális, illetve Lotka-Volterra rendszerekkel kapcsolatos eredmények mellett vannak további munkáim is ezen a területen, melyek végül a téma és a terjedelem szabta korlátok miatt kimaradtak. Ezek közül talán az [1] cikkben bemutatott módszert lehetne kiemelni, amelyben egy előírt Ljapunov függvény melletti dinamikus visszacsatolás tervezési feladatot fogalmaztunk meg lineáris mátrixegyenlőtlenségként. Az utóbbi években szerzőtársaimmal többek között Lotka-Volterra rendszerek passzivitás alapú szabályozásával [2] kísérletezünk, ahol tárolófüggvényként használjuk a Lotka-Volterra modellek esetén ismert entrópiaszerű Ljapunov függvény családot. Legutóbbi munkánkban [3] a korábban kidolgozott passzivitás alapú módszert elosztott Lotka-Volterra rendszerek decentralizált irányítására használjuk. Az alkalmazási terület itt különböző, egymással kapcsolatban levő élőhelyek között vándorló fajokból álló populációs modell vizsgálata és decentralizált irányítása.

Kérdés: *A 2. tézis vonatkozásában mik a lehetőségek nagyobb napelemes rendszerek esetén a kísérletezésre a betápláló egységek és a villamos hálózat kapcsolati pontjain a teljesítmény függvényében a vonatkozó szabványok és/vagy ajánlások figyelembevételével? Vannak-e ésszerű határok a teljesítmény és a költségek tekintetében?*

Válasz: A 2. tézis (a) részében ismertetett koncepció lényege, hogy a hálózatra kapcsolt egyfázisú inverterrel nem tisztán szinuszos áram jelalakot táplálunk a hálózatba, ezzel javítva az csatlakozási ponton mérhető feszültség minőségi jellemzőt (teljes harmonikus torzítás, THD). A jelenlegi törvényi előírás, illetve szabványok tudomásom szerint közvetlenül nem tiltják a nem szinuszos jelalak betáplálását a hálózatba. Az MSZ-EN 50160 szabvány csupán a villamos hálózat feszültség harmonikusaira vonatkozó megengedett értékeket szabályozza. A feszültség teljes harmonikus torzítása nem haladhatja meg a 8 %-ot [4]. A betáplált áram jelalak teljes harmonikus torzítására vonatkozó előírásokat az MSZ-EN 61000-6-4 szabványban találtam, amely szerint a harmonikus torzítás nem lehet nagyobb, mint 10 %. A piacon elérhető, szabványi előírásoknak megfelelő inverterek kimeneti áramára

vonatkoztatott teljes harmonikus torzítás tipikusan 3 %-körüli értékű. Az értekezésben bemutatott módszer által előállított áram jelalak THD-ja ennél sokkal nagyobb értéket vehet fel, ezáltal az alkalmazási területként megjelölt háztartási méretű kiserőművek esetében szinte biztosan nem alkalmazható. Másrészt tudomásom szerint jelenleg nem elérhető a piacon olyan inverter, amely az alapharmonikuson felüli frekvenciákon képes árambetáplálásra.

A 2. tézis (b) részében ismertetett módszer esetében más a helyzet, mivel ott a visszatáplált háromfázisú szinuszos áram amplitúdóját és fázisát befolyásoljuk az optimumkeresés közben, ezáltal aszimmetrikus háromfázisú áramjelalakot táplálunk be a hálózatba. A jelenlegi magyar szabályozás értelmében semmiféle aszimmetrikus betáplálás a villamos hálózatba nem megengedett. Megjegyzendő, hogy már elérhetőek a piacon hibrid inverterek, melyek támogatják a háromfázisú kiegyensúlyozatlan áram kimenetet, tehát sejthető, hogy a közeljövőben ez a szabályozás változni fog.

Végül ismét megköszönöm a konstruktív bírálatot, remélem, válaszaimat el tudja fogadni.

Veszprém, 2023. május 23.

.....

Magyar Attila

Az értekezésben szereplő hivatkozások

[16] Cao, Yong-Yan and Lam, James and Sun, You-Xiam. Static output feedback stabilization: an ILMI approach. *Automatica*, 34(12):1641–1645, 1998.

[41] Hernández-Bermejo, Benito. Stability conditions and Liapunov functions for quasi-polynomial systems. *Applied Mathematics Letters*, 15(1):25–28, 2002.

[131] A. Magyar, G. Szederkényi, and K. M. Hangos. Quadratic stability of process systems in generalized Lotka-Volterra form. In *Proceedings of 6th IFAC Symposium on Nonlinear Control (NOLCOS 2004), Stuttgart, Germany*, 2003. http://www.nolcos2004.uni-stuttgart.de.

[132] A. Magyar, G. Szederkényi, and K. M. Hangos. Quasi-polynomial system representation for the analysis and control of nonlinear systems. In *Proceedings of 16th IFAC World Congress, Prague, Czech Republic*, 2005. on CD.

[133] A. Magyar, G. Szederkényi, and K. M. Hangos. Globally stabilizing feedback control of process systems in generalized Lotka-Volterra form. *Journal of Process Control*, 2007.

[144] G. Szederkényi, K. M. Hangos, and A. Magyar. On the time-reparametrization of quasi-polynomial systems. *Physics Letters A*, 334(4):288–294, jan 2005.

Új hivatkozások

[1] A. Magyar and K. M. Hangos. Control Lyapunov function based feedback design for quasi-polynomial systems. In *Proceedings of 9th IFAC Symposium on Nonlinear Control (NOLCOS 2013), Touluse, France*, 2013. https://doi.org/10.3182/20130904-3-FR-2041.00108.

[2] L. Márton, K.M. Hangos, and A. Magyar. Passivity of Lotka-Volterra and quasi-polynomial systems. *Nonlinearity*, 34(2021):1880–1998, 2021. https://doi.org/10.1088/1361-6544/abd52b

[3] L. Márton, K.M. Hangos, and A. Magyar. Migration-connected networks of Lotka-Volterra and quasi-polynomial systems: modeling and decentralized control. *Nonlinearity*, (benyújtva, bírálat alatt)

[4] Nemzeti Közművek Hálózat. A szolgáltatott villamos energia minőségi paraméterei. *NKM Áramhálózati Korlátolt Felelősségű Társaság Elosztói Üzletszabályzata M4. számú melléklet*, (2017)