

Válasz

Dr. Abonyi János bírálataira

Fodor Attila: „*Model analysis, Parameter Estimation and Control of a Synchronous Generator*” című doktori értekezéséről

Tisztelt Professzor Úr!

Ezúton is szeretném megköszönni, hogy elvállalta a dolgozatom bírálói tisztét, a sok munkát, valamint a sok hasznos tanácsot és észrevételt, amelyet a bírolatában felsorolt. Köszönöm, hogy tanácsaival és javaslataival is hozzájárult, hogy dolgozatomat még színvonalasabban készíthessem el.

A bírolatában tett javaslataira és észrevételeire – amelyeket az írásbeli válaszban idézőjelek közé tettem - a következő válaszokat adom.

„A dolgozatban az analízis, a megfigyelő, és a szabályozó tervezése során adott munkapont körül linearizált modell van a fókuszban, mely megközelítésmód már a javított dolgozat elején tisztázására kerül. Sajnálom, hogy az igazán értékes, nemlineáris szabályozótervezéssel kapcsolatos eredményeket csak hivatkozza a szerző, nem részletezi a munkában (O7 irodalom).”

Köszönöm az észrevételt. A nemlineáris szabályozótervezéssel kapcsolatos idézett munkánk csak a nemlineáris tervezés kezdeti lépéseit tartalmazta, ezért nem éreztem indokoltnak, hogy részletesen is ismertessem ezeket a kezdeti eredményeket.

A linearizált modell teljesítményével kapcsolatban „beszúrt I. táblázatból látható, hogy a rendszer jól kezelhető lineáris modellel, így megfelelően alkalmazható a szerző lineáris modell alapú megközelítésmódja A táblázatban a $T1$ - $T5$ változókat célszerű lett volna pontosan definiálni.”

Elnézést kérek a $T1$ - $T5$ változók pontatlan definíciójáért, ezeket az alábbiakban pontosítom.

A $T1$ - $T5$ változók a λ_1 - λ_5 sajátértékekhez tartozó időállandók. $T1$, $T2$ és $T3$ időállandók okozzák a nagy frekvenciájú lengéseket, melyek a villamos generátor modelljének villamos részeire vezethetőek vissza. $T4$ és $T5$ időállandók az alacsony frekvenciájú lengésekért felelősek, melyek a generátor mechanikai tulajdonságaira vezethetőek vissza [6].

Bírálóm megjegyezte, hogy „hasznos lenne nyíltköri vizsgálatot minden kulcsfontosságú beavatkozóra és szabályozott jellemzőre bemutatni. Egy ilyen „step matrix” jellegű elemzésből pontosan lehetne látni a csatolásokat, numerikusan jellemezve a keresztthatásokat (pl. RGA mátrix segítségével)”

Sajnos a hiányolt nyíltköri vizsgálatok nem lehetségesek, mert a generátor működéséhez a szinkron fordulatszámon kell tartani a generátor tengelyét. A gyakorlatban a hő- és atomerőművekben üzemelő szinkrongenerátoroknál a turbina szabályozásával végzik el a szinkron fordulatszámon tartást. Ennek hiányában a visszacsatolás nélkül, azaz

fordulatszám szabályozás nélkül végzett szimulációk során a generátor kiesik a szinkronból és így a dolgozatban alkalmazott modell már nem használható.

„Az eredmények azt sugallják, hogy időben folytonos LQ szabályozóval és modellel történtek a vizsgálatok. Egy gyakorlati jellegű alkalmazási példánál úgy érzem diszkrét szabályozó és megfigyelő tervezése lenne az adekvát.”

A gyakorlatban valóban csak diszkrét idejű LQ szabályozó és megfigyelő lenne implementálható, ezt azonban az alkalmasan mintavételezett modellre kell megtervezni. Mivel az identifikáció során a folytonos modell paramétereit becsültem meg, ezért a megfigyelőt és a szabályozót is ennek a modellnek a linearizált alakjára terveztem. Így a mintavételezés megfelelő megválasztásával, illetve az ipari körülmények között megvalósítható mintavételezési körülmények hatásával nem foglalkoztam. Ugyanakkor a megtervezett LQ szabályozó diszkrét szabályozóvá is könnyedén átalakítható.

A zavarás hatásának analízise kapcsán Bírálóm több kérdést is felvet.

- (1) „Mi a zavarás jellemzője, normál eloszlású? Mekkora a reális értéke? Reális-e hogy az érték egy másodpercenként változik (úgy hogy a rendszer időállandója 3sec)? A zavarást mindenképpen elemezni kellene, különösen, hogy ennek elnyomására tervez szabályozót a jelölt.”

A zavar frekvenciája a hálózati tranziensek miatt széles frekvenciatartományban (100–50kHz) változhat [6]. A szimulációknál normál eloszlású fehérzajt alkalmaztam zavarásként és egy szűrőt raktam a zavarjelre, hogy ne legyen rajta ugrásszerű változás. A hálózati feszültség direkt komponensén lévő zaj amplitúdója 300V volt csúcstól-csúcsig, amely a normál üzemi feszültségnek 1,9%-a.

- (2) „A zavarás hatását sajnos nehéz a 9. ábráról kivenni, ugyanis elfedi a véleményem szerint nem jól hangolt (szerintem túlságosan nagy erősítéssel rendelkező) PI szabályozó teljesítménye. „

A PI szabályozó struktúráját és paramétereit az MVM Paksi Atomerőmű leírásaiból vettem át, azt nem én hangoltam be. Valóban igaz az, hogy ez a szabályozó nem jól hangolt, de a visszacsatolás nélküli szinkron generátor kiesik a szinkronból és így a zajérzékenysége sem vizsgálható.

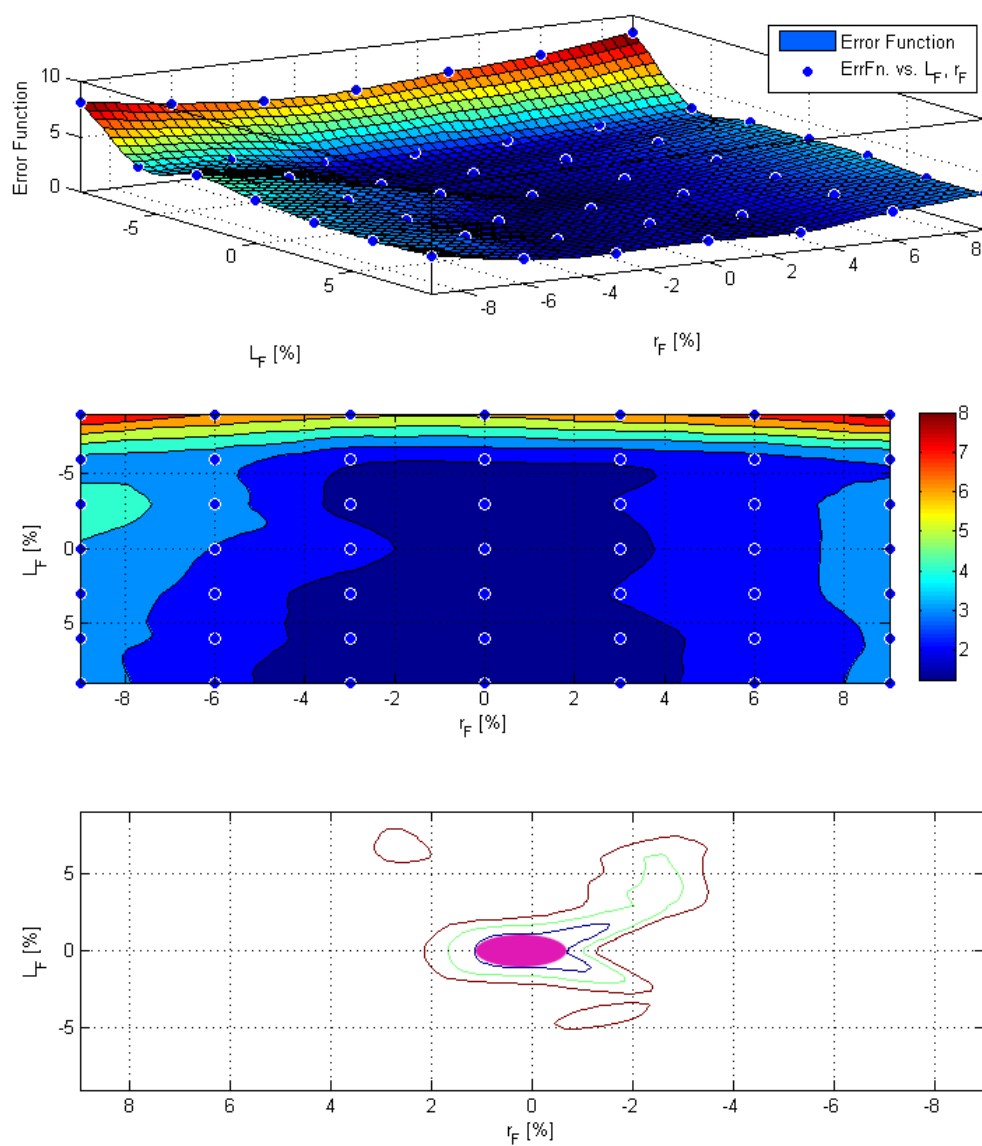
Sajnálom, hogy Bírálóm az általam alkalmazott érzékenységvizsgálati módszert számos okból nem tartja szerencsésnek. Valóban igaz az, „hogy a modell közvetlen elemzéséből (Jacobi mátrix, relatív erősítési mátrix, stb.) megalapozottabb következtetéseket lehetett volna levonni.”

A dolgozatban ismertetett érzékenységvizsgálat ugyanakkor nem a valódi érzékenységek megállapítását célozta, csupán egy segédeszköz volt arra, hogy meghatározzam azon paramétereket, melyekre a paraméterbecslést el lehet és el kell végezni. Ezzel az egyszerű módszerrel a generátor és a szabályozó paramétereit 4 csoportra bontottam az érzékenységük alapján és a becsülendő paraméterek számát le tudtam csökkenteni 9-re. (Dolgozat 3.5 fejezet, [O1], [O2], [O3] és [O5])

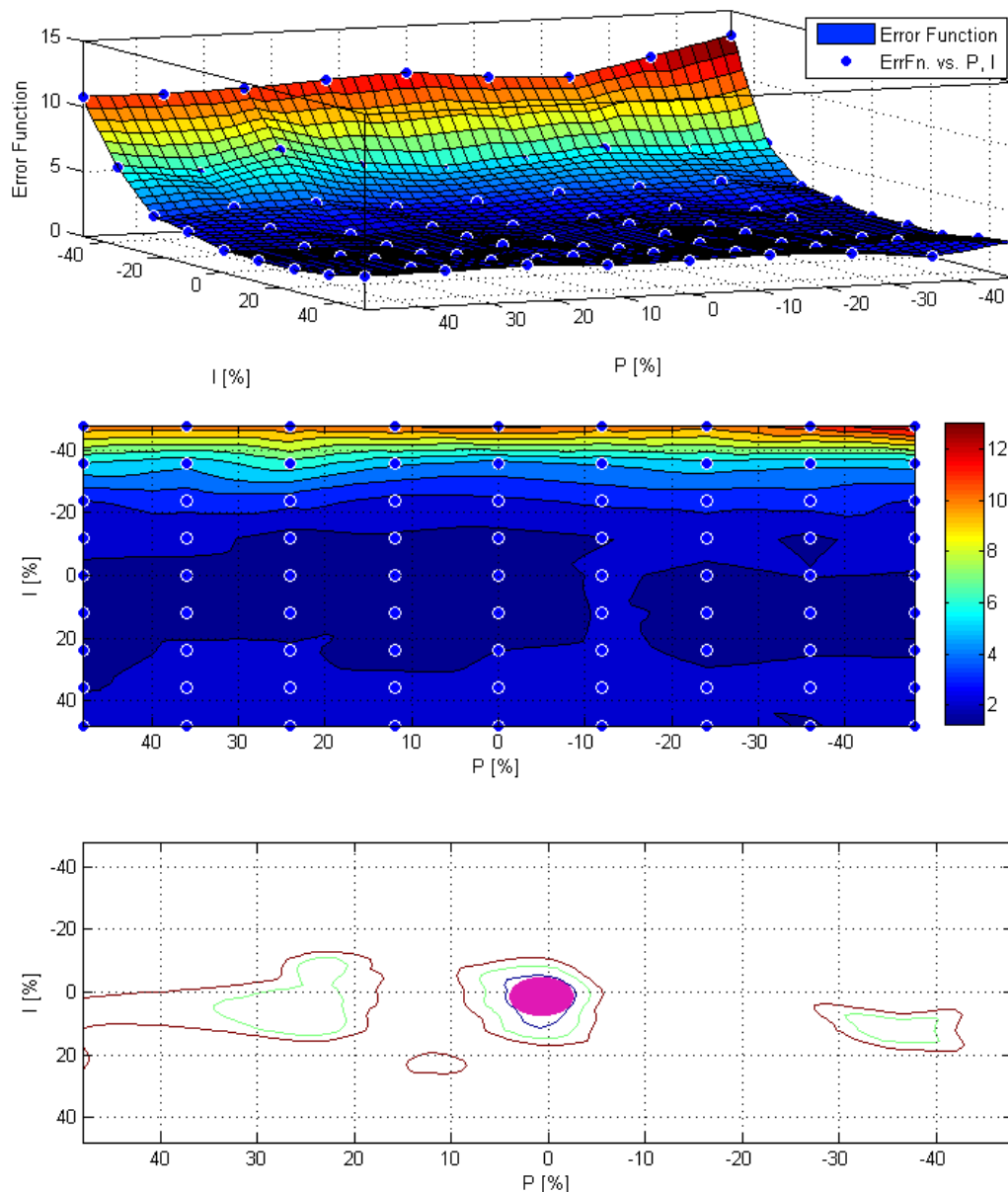
Bíráltam azt is jogosan kifogásolta, hogy „a 4.4.2 fejezetben a “heurisztikus” konfidencia régiók helyett (vagy mellett) az érzékenységvizsgálatban széles körben alkalmazott Fisher információs mátrix sajátértékén alapuló E és D kritériumot” nem szerepeltettem.

A paraméterbecslést optimalizációs módszerrel, a becslési hibát, mint célfüggvényt a paraméterek terében minimalizálva végeztem el. Ezért a becsült értékek konfidencia tartományait csak numerikusan közelítve, a célfüggvény szintvonalai segítségével tudtam becsülni. A célfüggvény alakját csak az optimalizáló eljárás lépései során kiértékelt pontok által kifeszített módon ismerem, így a konfidencia tartományokat burkoló hiper-ellipszoidból tudnék csak a becsült értékek kovariancia mátrixára becslést adni, a Fisher információs mátrix pedig a minimum pontban értelmezett görbületből lenne csak numerikusan meghatározható.

<i>Paraméter neve</i>	<i>Ellipszis tengelyei (Paraméter értékének %-ában) Az ellipszisek a 95%-os konfidencia tartományt burkoló görbébe lettek illesztve.</i>
<i>rF, LF</i>	<i>0,8955 ; 2,1329</i>
<i>r, LAQ</i>	<i>30,0097 ; 3,4118</i>
<i>D, Lq</i>	<i>2,4369 ; 7,0588</i>
<i>P, I</i>	<i>6,6111 ; 12,2413</i>



1. ábra: Lila színnel jelölve látható a 9 dimenziós hiper-ellipszoid 2 dimenziós vetülete (L_F és r_F) a konfidencia tartományokat bemutató ábrán



2. ábra: Lila színnel jelölve látható a 9 dimenziós hiper-ellipszoid 2 dimenziós vetülete (I és P) a konfidencia tartományokat bemutató ábrán

„A 20-as ábra két lokális optimumot jelez. Mi ennek az oka, melyik globális optimum? Mennyire jellemző a feladatra az ilyen jellegű költségfüggvény? Mi lehet az oka? „

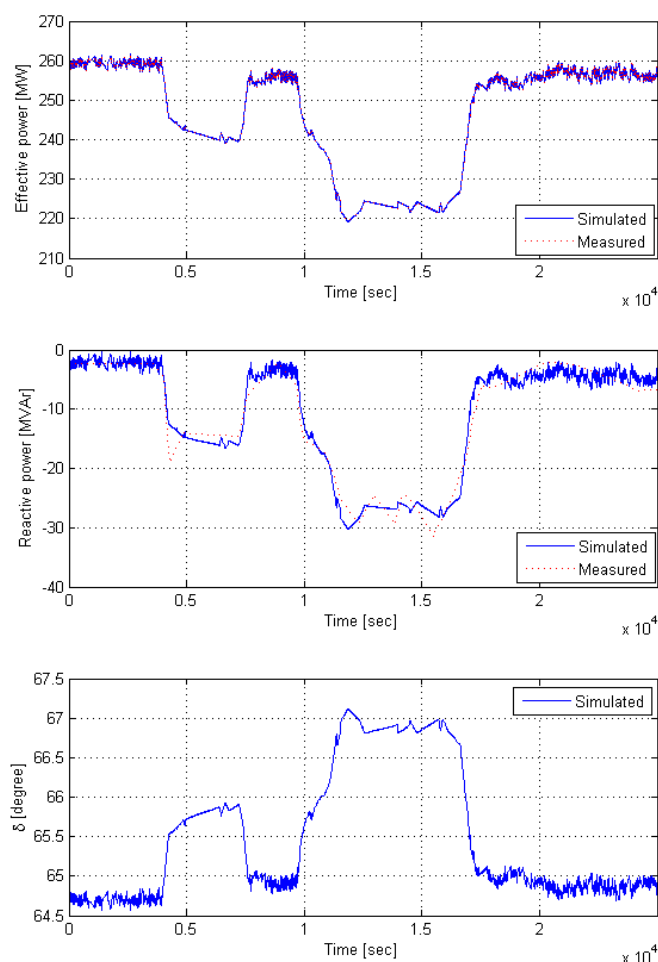
A 20-as ábrán több minimum pont is látható, azonban a minimumok közül csak az egyik a globális minimum. Az ábra azt szemlélteti, hogy az APPS nem „ragad be” egy lokális minimumba, hanem képes megtalálni a globális minimumot.

A költségfüggvény több lokális minimumának alapvetően kettő oka lehet. Az okok közül elsőként említeném a szinkron generátor nemlineáris modelljét (lásd Dolgozat 2.3).

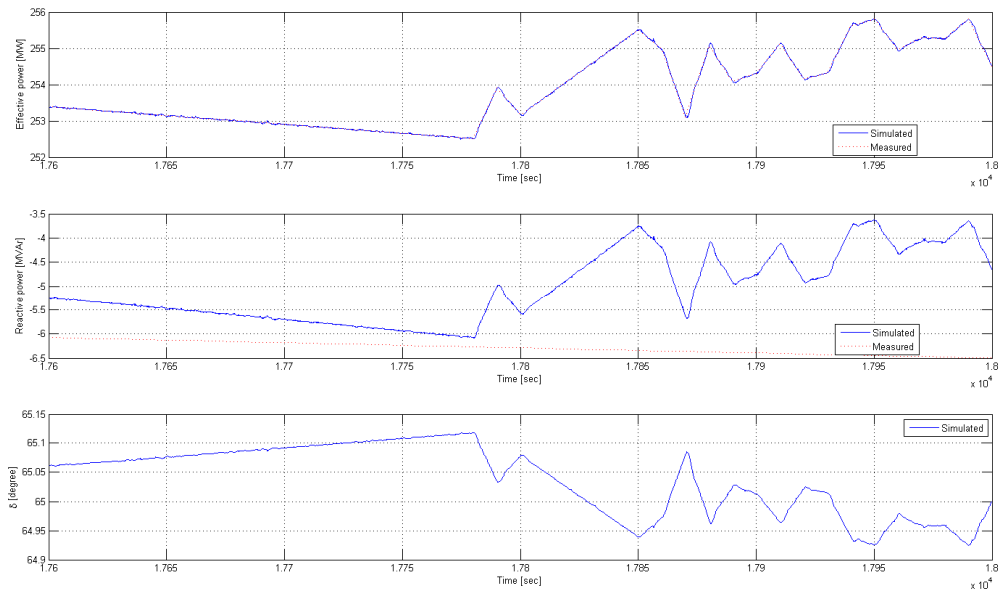
A második ok az iparból származó mérési adatokra vezethető vissza, mivel a mérési adatok az MVM Paksi Atomerőműből származnak ezért közülük néhány alulmintavételezett (lásd Dolgozat 3.2). Ezen néhány alulmintavételezett jel is okozhatja azt, hogy több minimuma van a költségfüggvénynek.

„A 23-as ábrán feltüntetett validáció 20000 másodpercnyi működést ölel fel. Meg kell ismételnem a megjegyzésem, hogy ezalatt az időtartomány alatt csak a stacioner hibáról kapunk (képi) információt. „

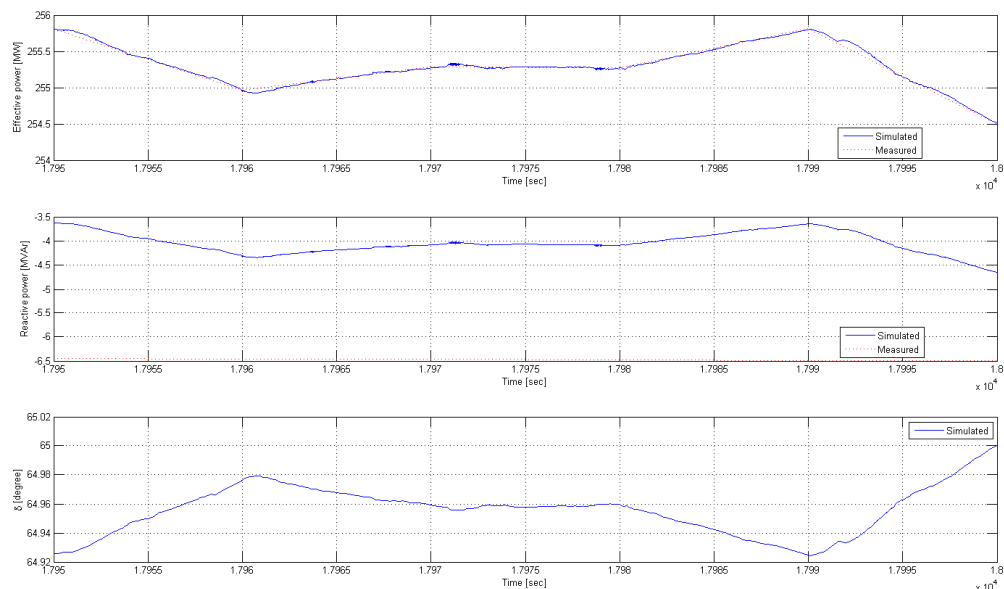
Bírálom jogos kritikájának megfelelően a kifogásolt ábra kinagyított részeit is elkészítettem, amelyek a rövid idejű tranziens viselkedést is mutatják.



3. ábra: A dolgozatban szereplő kifogásolt ábra



4. ábra: 400 másodperces ablak



5. ábra: 50 másodperces ablak

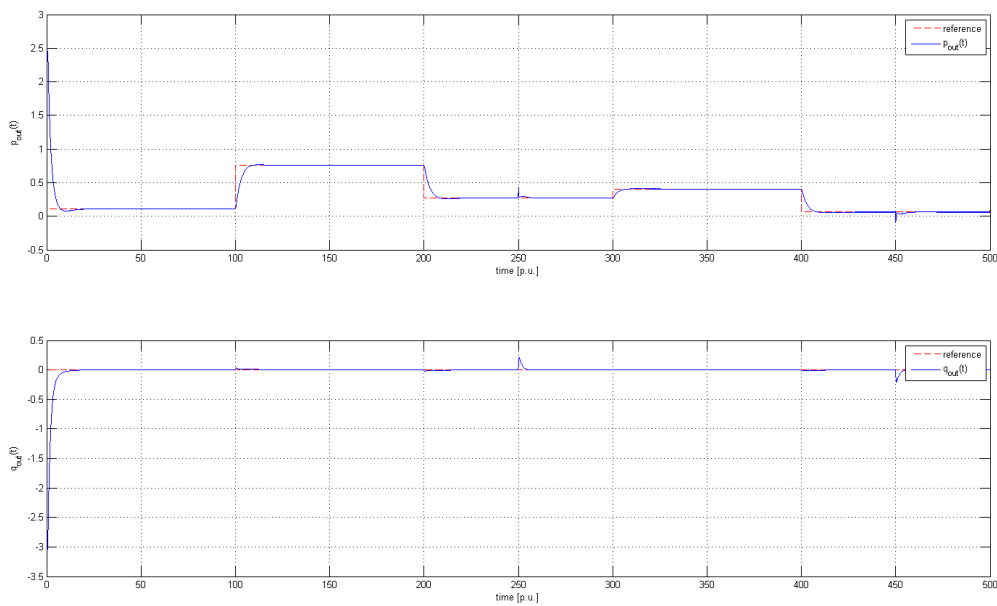
„A mért adatok tört vonala furcsa, esetleg simítani szükséges. A tört vonal annak köszönhető, hogy csak ilyen ritkán állnak rendelkezésre mérési adatok? Ha igen, mit gondol a szerző, alkotható ezen adatok alapján megfelelő dinamikus modell? Mi a véleménye a jelöltnek arról a vélekedésemről, hogy az ilyen ritkán mintavételezett zajos adatok a teljes becskést félrevihetik és a dinamikáról nem tartalmaznak információt? (reactive power esetén) „

Mivel a szimuláció közben felhasznált adatok ipari mérésekből származnak, ezért a mintavételezésük a Paksi Atomerőmű mérésadatgyűjtő rendszere által adott volt. A meddő teljesítmény (reactive power) jelek a többi jeltől eltérően sajnos nem a VERONA rendszerből származnak azért kisebb és ráadásul nem is egyenletes a mintavételi sűrűség.

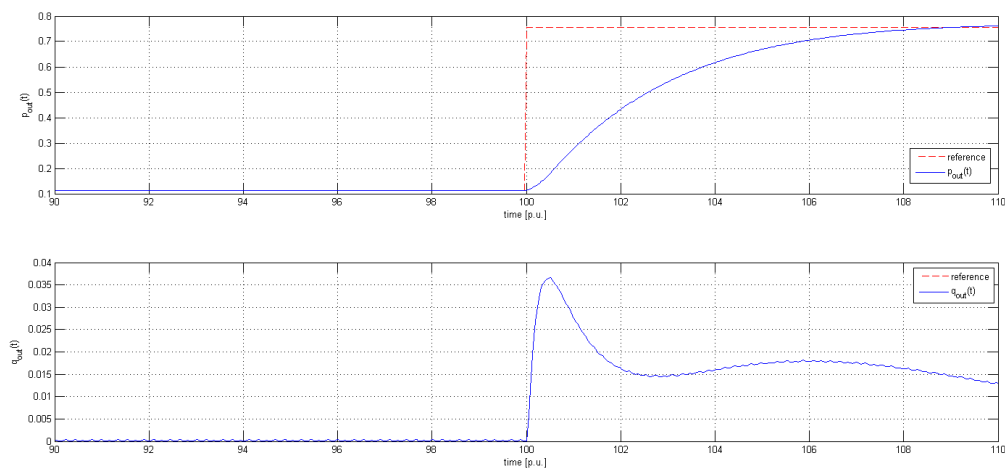
Szerencsére a modell felállítása és a szerkezet meghatározása mérnöki elvek alapján történt, a mérési adatokat csupán a paraméterek becslésénél alkalmaztam. A mintavételezés minőségét a hibafüggvény súlyainak a beállításával kompenzáltam. A paraméterek becslésének konfidencia régióit minden becsült paraméter esetében megvizsgáltam, ha ennél pontosabb paraméterbecslést szeretnénk, akkor jobb minőséggel rendelkező mérési adatokat kellene alkalmazni, ami sajnos nem volt lehetséges.

„Hasznos lenne a 28. ábrán a beavatkozó jellemzőket is feltüntetni, illetve egy másik ábrán a becsült állapotok mértékét.”

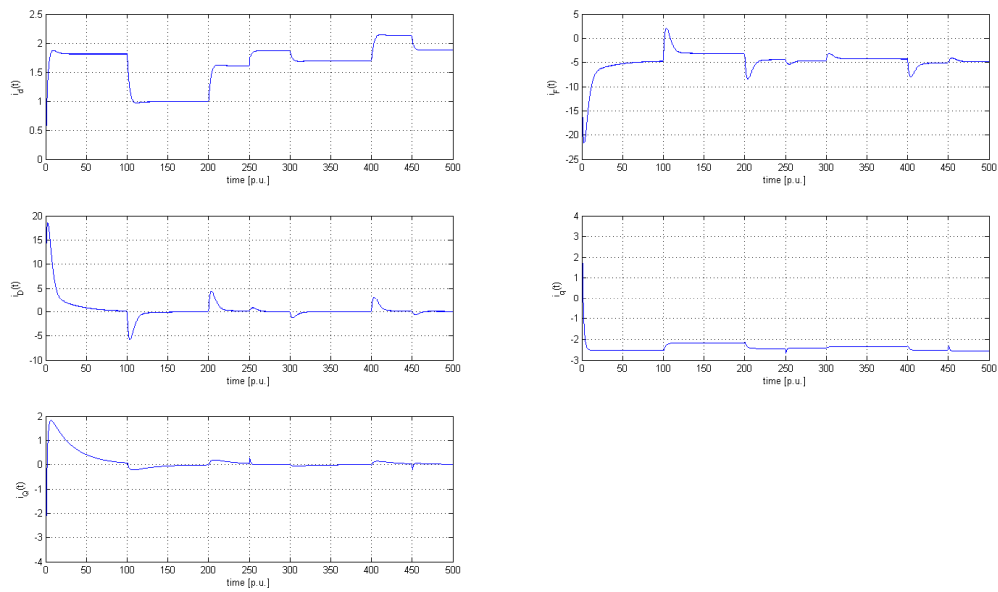
Elnézést kérek, hogy a szabályozó működését pontosabban jellemző ábrák kimaradtak a dolgozatból. Ezeket most, válaszómban pótolom.



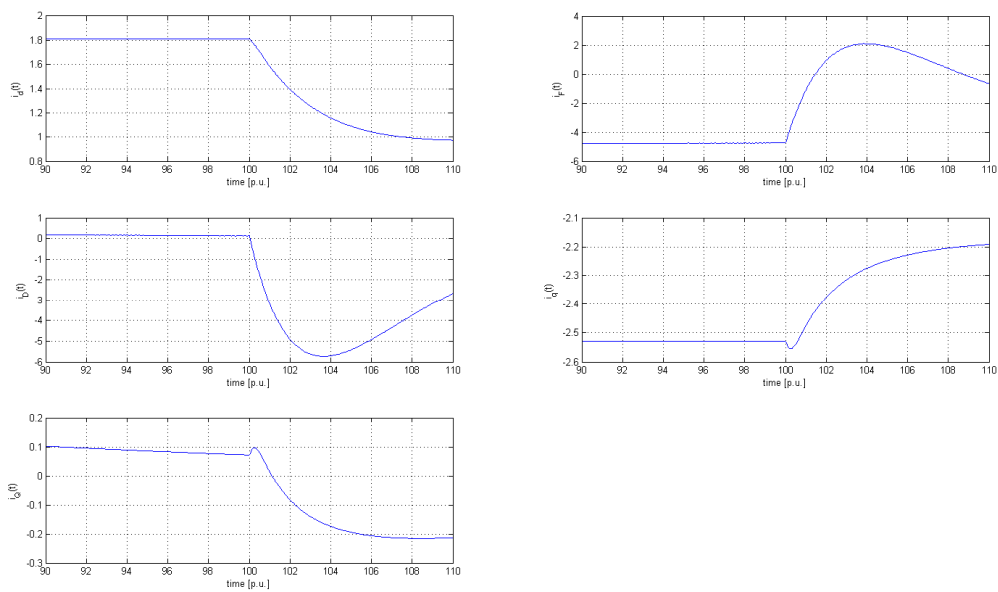
6. ábra: Az LQ szabályozó szabályozott kimenetek (p_{out} , q_{out})



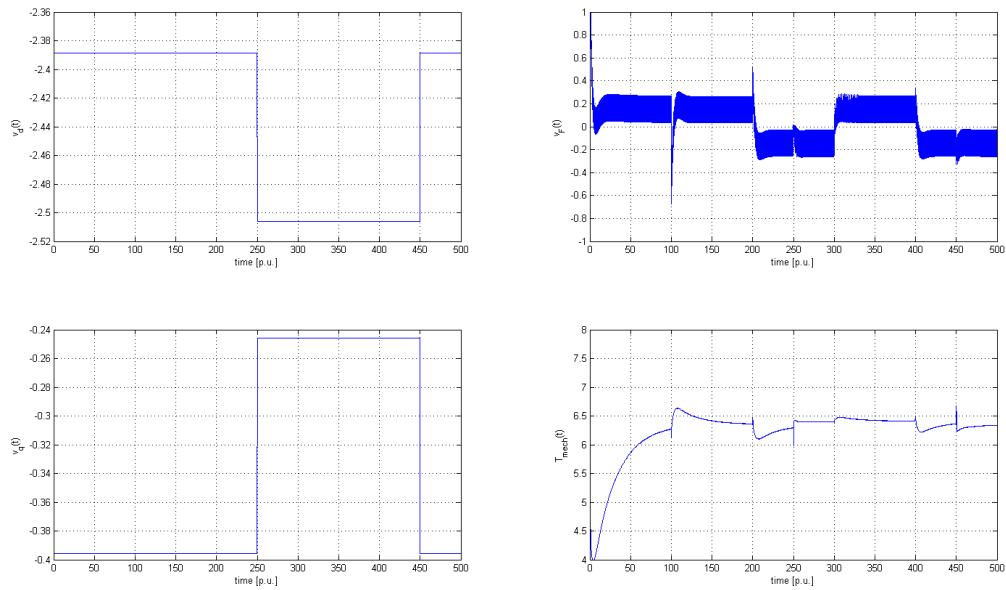
7. ábra: Az LQ szabályozó szabályozott kimenetek (p_{out} , q_{out})



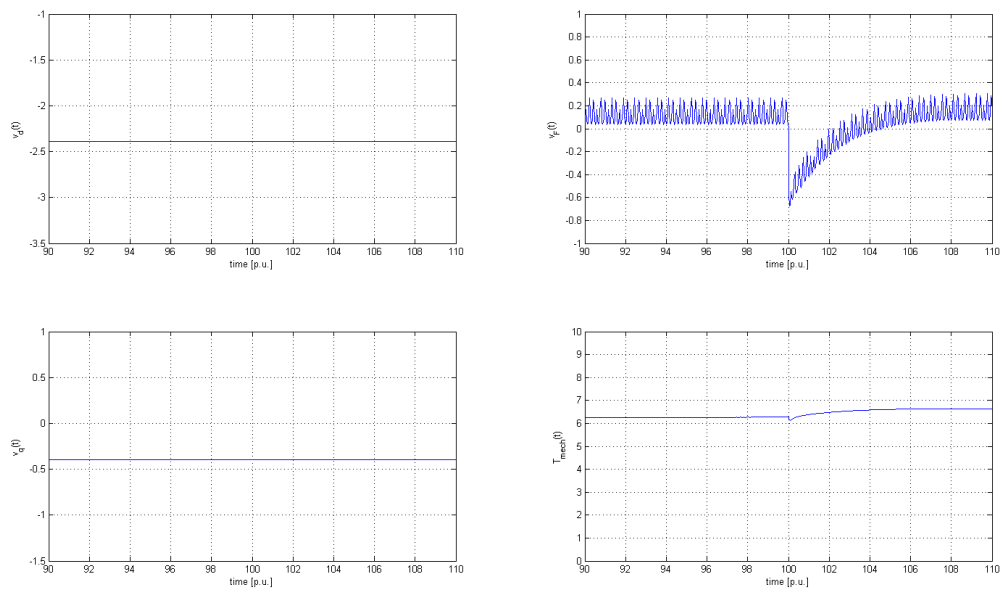
8. ábra: Az állapotváltozók értékei



9. ábra: Az állapotváltozók értékei



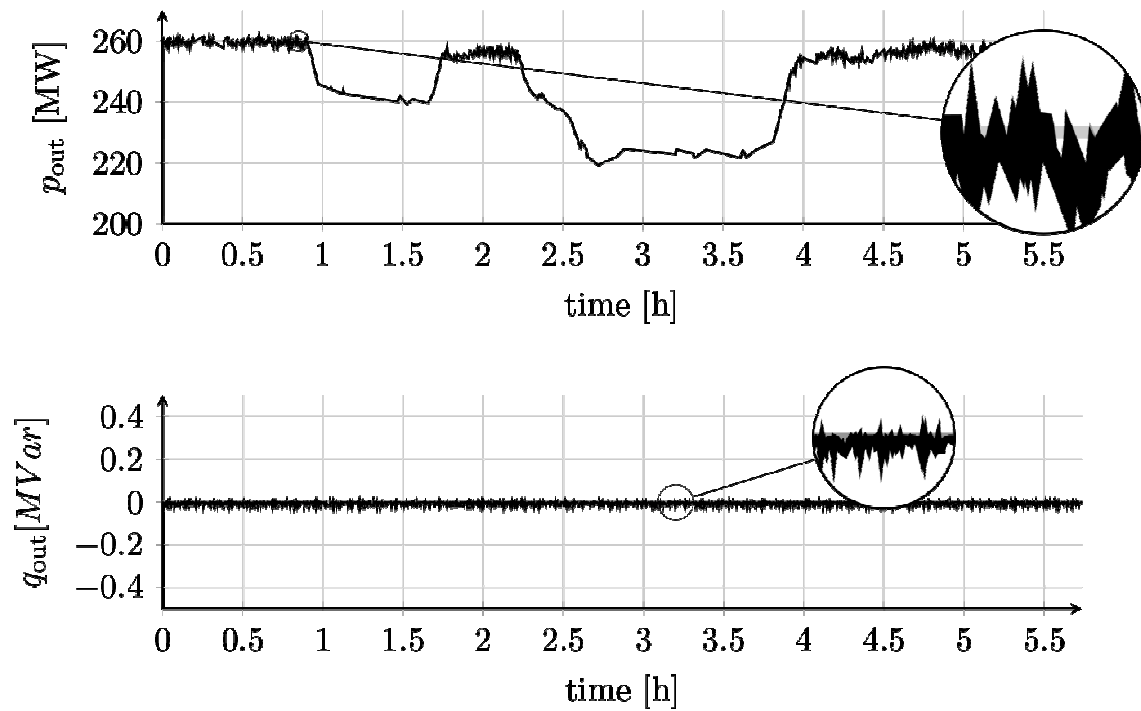
10. ábra: A generátor bemeneti változóinak (v_F , T_{mech}) és a zavarjeleinek az értékei (v_d , v_q)



11. ábra: A generátor bemeneti változóinak (v_F , T_{mech}) és a zavarjeleinek az értékei (v_d , v_q)

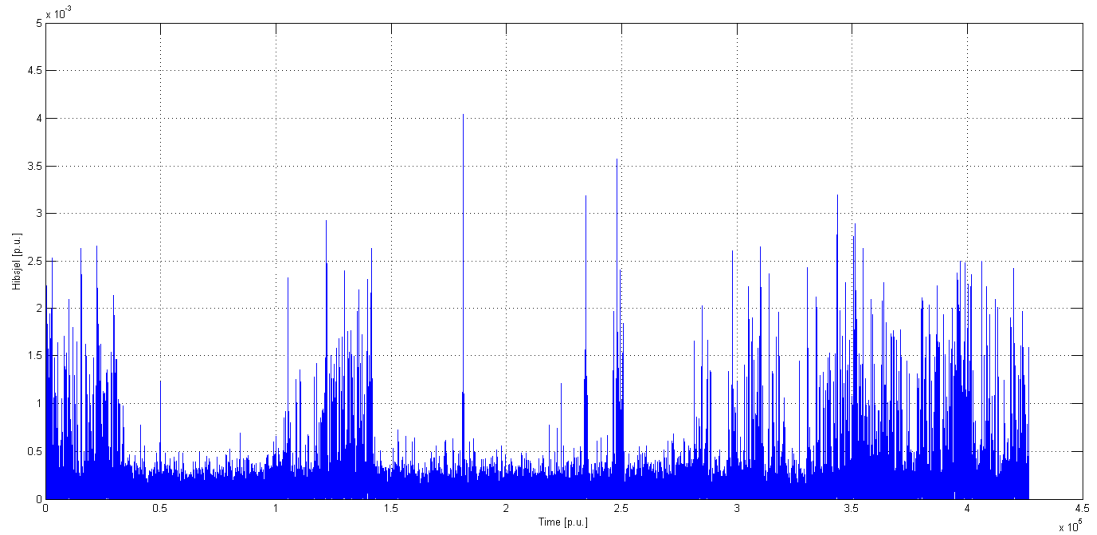
„A 29 ábra időskálája szintén elfedi a lényegét. A MIMO szabályozó hatását alaposabb vizsgálatokban kellene igazolni (lehetőleg numerikusan is jellemezve a szabályozó teljesítményét).”

Az LQ szabályozó alapjel követésének vizsgálatához egy nagyítót helyeztem a 29-es ábrára, de sajnos azon sem különíthető el szignifikánsan egymástól az alapjel és az ellenőrző jel.

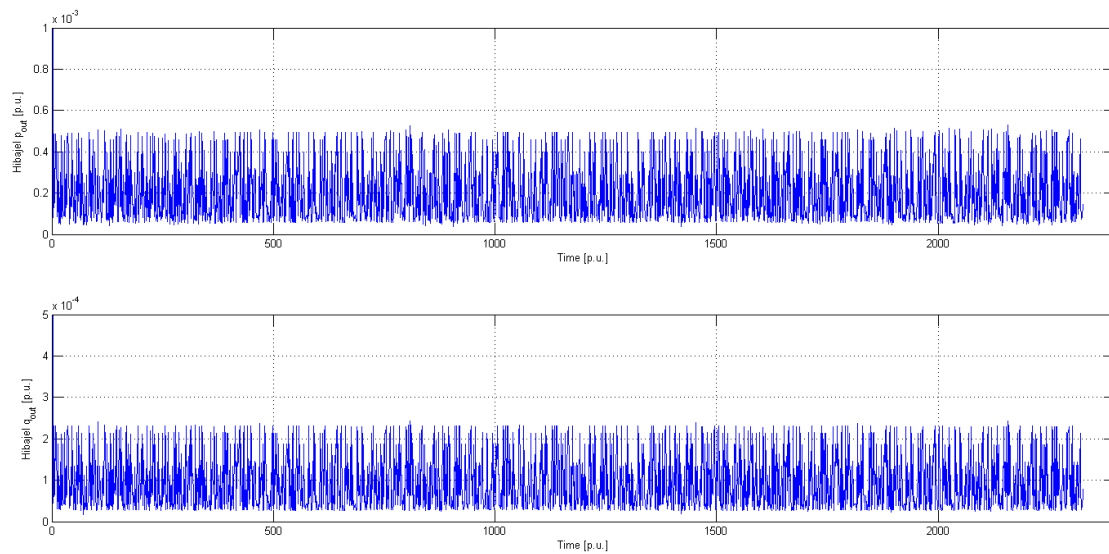


12. ábra: A megtervezett LQ szabályozó alapjele és ellenőrző-jele

A meglévő és az LQ szabályozó összehasonlítására lefutattam újból a szimulációkat és ábrázoltam a hibajel abszolút értékét. Mivel a meglévő szabályozó nem képes a meddő teljesítményre szabályozni, ezért azt nem ábrázoltam.



13. ábra: A hibajel abszolút értéke jelenlegi szabályozónál



14. ábra: A hibajel abszolút értéke az LQ szabályozó esetén

A hibajelek normáit kiszámolva azt kaptam, hogy a jelenlegi szabályozó normája, amely csak a hatásos teljesítményre tud szabályozni 1,4245.

Az LQ szabályozó esetében a hatásos és a meddő teljesítményhez is fel lehet írni egy-egy normát. A hatásos teljesítmény szabályozására a szabályozó normája 2,4533, míg a meddő teljesítmény szabályozására 1,3489.

Végezetül még egyszer köszönöm a konstruktív és pozitív bírálatot, és tisztelettel kérem, hogy válaszaimat fogadja el.

Veszprém, 2015. július 3.

Fodor Attila
Ph.D. jelölt