

IMPACT struktura – moguća poboljšanja i primene

MILAN S. MATIJEVIĆ, Mašinski fakultet u Kragujevcu

MILIĆ R. STOJIC, Elektrotehnički fakultet u Beogradu

Rezime – U radu su razmatrani koncepti parametarske sinteze IMPACT (Internal Model Principle and Control Together) strukture i njene strukturne modifikacije u specijalnim slučajevima primene. Demonstriran je nov pristup njene parametarske sinteze koji u odnosu na prethodne daje superiorniji rezultat u svakom pogledu: u pogledu robustnosti, dinamike upravljačke i upravljane promenljive. Ilustrovane su široke mogućnosti IMPACT strukture, ali i ključan problem sinteze: optimizacija rešenja Diophantineove jednačine. Posebno je ukazano na probleme koji čekaju rešenje, a čije će eventualno rešavanje značiti zapažen doprinos u oblasti robustnih sistema generalno.

Ključne reči: IMPACT struktura, digitalno upravljanje, unutrašnji model, Diophantineova jednačina

1. UVOD

Svi do sada razvijeni postupci analitičkog projektovanja algoritama upravljanja bazirani su na poznavanju modela objekta upravljanja i apriornih informacija o karakteru poremećaja [1]. U zavisnosti od specifičnosti raspoloživog modela upravljanog procesa, karakteristike klase poremećaja čije se dejstvo na sistem očekuje, postojećih fizičkih ograničenja u sistemu, i primarnih upravljačkih ciljeva, bira se odgovarajući metod strukturne i parametarske sinteze upravljanja [1]. Koncepti unutrašnjih modela u teoriji upravljanja su omogućili da eksplicitno i generalnije, nego što je do sada bio slučaj, bude osvojen postupak sinteze upravljačke strukture sistema u smislu kompenzacije određene klase poremećaja; zatim, postizanja velikog stepena robustnosti sistema, redukcije podešljivih parametara strukture itd [2].

Generalno, korišćenjem koncepata unutrašnjih modela, moguće je postići: 1) jednostavniju proceduru sinteze upravljačkog algoritma; 2) estimaciju nemejljivih signala; 3) otklanjanje uticaja eksternih poremećaja; 4) on-line adaptaciju sistema; 5) uspešno projektovanje robustne stabilnosti i robustne performanse; 6) kombinovanje prednosti već proverenih algoritama upravljanja, itd. Pri tome, mnoge upravljačke strukture mogu biti tumačene kao strukture sa unutrašnjim modelom. Međutim, sledeća tri bazna prilaza ćemo izdvojiti kada je reč o strukturama sa unutrašnjim modelima:

- IMP (Internal Model Principle) podrazumeva uvođenje modela generatora poremećaja u upravljačku strukturu sistema radi kompenzacije uticaja zadatog tipa poremećaja na upravljanu promenljivu.

- IMC (Internal Model Control) struktura podrazumeva eksplicitno uvođenje modela objekta upravljanja unutar upravljačke strukture u paraleli sa realnim objektom. Struktura je podesna za projektovanje robustne stabilnosti i performanse.
- IMPACT struktura je novijeg datuma i objedinjuje prednosti struktura zasnovanih na IMP i IMC [1-3].

Predmet ovoga rada jeste digitalna IMPACT struktura, njena parametarska sinteza, mogućnosti njene primene i moguća poboljšanja.

2. PRINCIP APSORPCIJE

Princip apsorpcije je u osnovi identičan principu unutrašnjeg modela (IMP) i njegova svrha je da uključi model poremećaja u upravljački algoritam u cilju eliminacije efekata poremećaja na stacionarnu vrednost upravljane promenljive. Princip se sastoji u projektovanju apsorpcionog filtra na čiji ulaz se dovodi signal poremećaja, tako da greška stacionarnog stanja sistema bude u što većoj meri otklonjena.

Pretpostavimo da je poremećaj čije efekte treba kompenzovati regularan, tj. da k -ti odbirak poremećaja može biti predstavljen konačnim brojem prethodnih m_o odbiraka. U tom slučaju važi relacija

$$f(kT) = D(z^{-1})f((k-1)T) \quad (1)$$

gde je $D(z^{-1})$ polinom predviđanja stepena $m_o - 1$. Relacija (1) predstavlja jednačinu ekstrapolacije ili predviđanja [4]. Kao uslov apsorpcije poremećaja zadate klase, sada se može postaviti jednačina kompenzacije [3]

$$\Phi(z^{-1})F(z) = 0, \quad t = kT \geq (\deg \Phi)T \quad (2)$$

gde je

$$\Phi(z^{-1}) = 1 - z^{-1}D(z^{-1}) \quad (3)$$

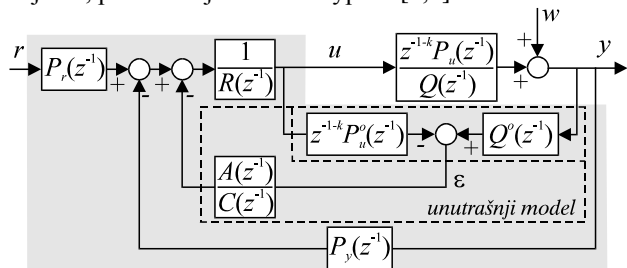
polinom kompenzacije ili apsorpcioni filter, $F(z)$ je kompleksni lik poremećaja, a T perioda odabiranja. Pri apriornoj informaciji o poremećaju, polinom predviđanja $D(z^{-1})$ se određuje polazeći od modela poremećaja u vremenskom domenu. U slučaju determinističkog poremećaja, jednostavan postupak određivanja polinoma apsorpcije svodi se na

$$\Phi(z^{-1}) = F_{den}(z^{-1}), \quad \text{za} \quad F(z) = \frac{F_{num}(z^{-1})}{F_{den}(z^{-1})} \quad (4)$$

Pri nedovoljnim apriornim informacijama o poremećajima koristi se adaptivan prilaz, koji omogućava da se i u uslovima neodređenosti dobije ocena klasa poremećaja koji deluju na sistem [5]. I u slučaju stohastičkih poremećaja, moguća je sinteza adekvatnog apsorpcionog filtra. Recimo, nisko frekvencijski stohastički poremećaj, koji se može simulirati dvostrukom integracijom belog šuma, biće apsorbovan filtrom $\Phi(z^{-1}) = (1 - z^{-1})^2$, koji se koristi i u slučaju nagibnog ili linearno rastućeg poremećaja [3].

3. IMPACT STRUKTURA

Sasvim originalnu strukturu sistema sa unutrašnjim modelom (Sl.1), koja obezbeđuje apsorpciju očekivane klase poremećaja, visok kvalitet dinamičkog ponašanja i izrazitu robustnost u odnosu na promene parametara objekta, predložio je Ya. Z. Tsympkin [3,4].



Sl. 1. IMPACT struktura digitalnog sistema upravljanja

Upravljački deo strukture je jasno markiran na Sl. 1, i dat je u funkciji polinoma po kompleksnoj promenljivoj z^{-1} , dok je objekat upravljanja predstavljen funkcijom prenosa $W(z^{-1}) = z^{-k}P_u(z^{-1})/Q(z^{-1})$. Pri tome je nužno uvažiti realnost da se model objekta nikada ne može prihvatiti kao apsolutno tačan, već samo kao manje ili više adekvatan. Uglavnom se kao dovoljno pouzdan može se prihvatiti sledeći model objekta

$$W(z^{-1}) = W^o(z^{-1})(1 + \delta W(z^{-1})) \quad (5)$$

pri čemu je nominalni model objekta upravljanja poznat

$$W^o(z^{-1}) = \frac{z^{-1-k}P_u^o(z^{-1})}{Q^o(z^{-1})} \quad (6)$$

a njegova perturbacija ograničena multiplikativnom granicom neodređenosti

$$|\delta W(e^{-j\omega T})| \leq \alpha(\omega), \quad \omega \in [0, \pi/T] \quad (7)$$

Ovakav vid modeliranja parametarskih perturbacija objekta nije podesan u slučaju nestabilnih objekata upravljanja, ali to neće uticati na opštost daljeg izlaganja [3]. Uticaj perturbacije objekta na upravljanu promenljivu može biti modeliran kao parametarski poremećaj i zajedno sa efektima spoljašnjeg poremećaja $w(t)$ čini generalisani poremećaj φ . Ukoliko je generalisani poremećaj regularan [4, 3], tada je moguće projektovati apsorpcioni filter $\Phi(z^{-1})$, tako da bude zadovoljena relacija (3). U slučaju IMPACT strukture, princip apsorpcije je sadržan kroz sintezu unutrašnje konture, koja omogućava estimaciju generalisanog poremećaja, njegovu predikciju i prenosnu (feedforward) kompenzaciju. Naime, unutrašnju konturu čini dvoulazni nominalni model objekta (polinomi $z^{-1-k}P_u^o(z^{-1})$ i $Q^o(z^{-1})$) i unutrašnji model poremećaja (polinomi $A(z^{-1})$ i $C(z^{-1})$), do koga se dolazi rešavanjem polinomnog identiteta

$$z^{-1-k}A(z^{-1}) + B_1(z^{-1})\Phi(z^{-1}) \equiv C(z^{-1}) \quad (8)$$

uz uvažavanje pretpostavke [4, 2]

$$R(z^{-1}) = \begin{cases} P_u^o(z^{-1}), & \text{kada je OU minimalne faze} \\ \hat{P}_u^o(z^{-1}), & \text{kada je OU neminimalne faze} \end{cases} \quad (9)$$

Zapravo, polinomi $A(z^{-1})$ i $B_1(z^{-1})$ su rešenje Diophantineove jednačine (8), dok izbor stabilnog polinoma $C(z^{-1})$ može biti proizvoljan. Polinom $A(z^{-1})$ predstavlja implicitni model poremećaja, dok izbor stabilnog polinoma $C(z^{-1})$ ima uticaja na dinamiku apsorpcije i na filterska svojstva sistema. Dobre filterske sposobnosti unutrašnjeg modela i bolji doprinosi robustnoj performansi sistema, s jedne strane, i efikasna dinamika apsorpcije poremećaja, s druge strane, jesu međusobno oprečni zahtevi [1, 2]. Zato se u cilju sprečavanja osetljivosti na merni šum i boljih robustnih osobina sistema u opsegu viših učestanosti, preporučuje da adekvatan NF filter bude sastavni deo unutrašnjeg modela poremećaja

$$\frac{A(z^{-1})}{C(z^{-1})} = \frac{A_f(z^{-1})A_1(z^{-1})}{C(z^{-1})}$$

gde je $A_f(z^{-1})/C(z^{-1})$ NF digitalni filter koji se bira, a polinom $A_1(z^{-1})$ sledi iz uslova apsorpcije poremećaja (8), i može biti tumačen kao implicitni model poremećaja. Na niskim frekvencijama dinamika unutrašnje konture može biti u potpunosti opisana nominalnim modelom objekta upravljanja. Na višim frekvencijama greške modeliranja mogu doći do izražaja, ali tada robustna performansa sistema može biti održana kako je to pokazano u [5]. Unutrašnja kontura kompenzuje uticaj generalisanog poremećaja i podiže nivo robustne performanse sistema. Otuda, spoljašnja kontura "vidi"

unutrašnju kao nominalni objekat upravljanja, određuje dinamičko ponašanje nominalnog sistema i projektuje se na osnovu specificirane funkcije spregnutog prenosa sistema

$$G_{de}(z^{-1}) = \frac{z^{-1-k} H_{de}(z^{-1})}{K_{de}(z^{-1})}$$

Pri tome, željena frekvencijska propustnost mora biti usklađena sa frekvencijskom propusnošću upravljanog procesa radi dobijanja prihvatljive dinamike promene upravljačkog signala i postizanja adekvatne robustne performanse sistema. Takođe, treba imati u vidu i druga moguća ograničenja, koja je poželjno imati u vidu radi dobrih robustnih osobina sistema [1]. Iz uslova da funkcija spregnutog prenosa nominalnog sistema odgovara željenoj funkciji prenosa dobija se Diophantineova jednačina

$$Q^o(z^{-1}) + z^{-1-k} P_y(z^{-1}) \equiv T(z^{-1}) K_{de}(z^{-1}) \quad (10)$$

čija rešenja su polinom $P_y(z^{-1})$ i polinom $T(z^{-1})$ (koji mora biti stabilan, a u slučaju da je $k=0$ imamo da je $T(z^{-1}) \equiv 1$); i dobija se izraz za izračunavanje polinoma $P_r(z^{-1})$

$$P_r(z^{-1}) \equiv T(z^{-1}) H_{de}(z^{-1}) \quad (11)$$

Na kraju, nužno je proveriti da li definisana upravljačka struktura ispunjava uslov robustne stabilnosti. Recimo, za stabilne objekte upravljanja, uslov robustne stabilnosti za IMPACT strukturu je

$$\alpha(\omega) < \left| \frac{C(z^{-1})(Q^o(z^{-1})R^o(z^{-1}) + z^{-1-k} P_u^o(z^{-1})P_y^o(z^{-1}))}{z^{-1-k} P_u^o(z^{-1})(P_y^o(z^{-1})C(z^{-1}) + Q^o(z^{-1})A(z^{-1}))} \right|_{z^{-1}=e^{-j\omega T}}$$

za $\omega \in [0, \pi/T]$. Ukoliko ovaj uslov nije ispunjen, kako je to objašnjeno u [1], modifikuje se željena funkcija prenosa, bira se drugi polinom $C(z^{-1})$, ili se izborom odgovarajućih faktora pravi adekvatniji izbor rešenja Diophantineove jednačine (10).

4. IMPACT - MODIFIKOVANI PRILAZI

U osnovi, sinteza IMPACT strukture se sastoji u rešavanju dve Diophantineove jednačine (8) i (10), čija rešenja garantuju apsorpciju specificirane klase generalisanog poremećaja i željeno dinamičko ponašanje sistema. Prema predloženom algoritmu, sinteza dvaju kontura teče potpuno nezavisno, tj. Diophantineove jednačine (8) i (10) nisu u međusobnoj interakciji, što je svakako prednost, a što je ostvareno izborom polinoma (8). Međutim, na taj način su umanjene mogućnosti strukture u smislu projektovanja robustne stabilnosti. Ukoliko je primaran cilj projektovanje robustne stabilnosti sistema, redosled koraka se menja i prvo teče sinteza spoljne konture. Željeni karakteristični polinom se usvaja u skladu sa željenom dinamikom sistema, a u cilju širenja oblasti robustne stabilnosti se proširuje faktorima

$$\prod_{i=1}^n (1 - b_i z^{-1})^i, \quad 0 \leq b_i \leq 0.9$$

pri čemu se nastoji da parametri n i b_i imaju što manje vrednosti, odnosno vrednost b_i se povećava do svog maksimuma pre nego što se poveća vrednost parametra n , i taj proces traje sve dok se ne zadovolji kriterijum robustne stabilnosti sistema. Sada, umesto identiteta (10) stoji

$$Q^o(z^{-1})R_d(z^{-1}) + z^{-1-k} P_y^o(z^{-1}) \equiv K_{de}(z^{-1}) \quad (12)$$

i polinomi $P_y(z^{-1})$ i $R_d(z^{-1})$ su rešenja ove Diophantineove jednačine, ali su rešenja i polinomi

$$R_d(z^{-1}) + N(z^{-1})z^{-1-k} + P_y^o(z^{-1}) - N(z^{-1})Q^o(z^{-1})$$

gde je $N(z^{-1})$ proizvoljan polinom [6, 7]. Polinom $R_d(z^{-1})$ je faktor polinoma $R(z^{-1})$ ($R(z^{-1}) = P_u(z^{-1})R_d(z^{-1})$). Praktično, ovde se radi o slučaju jednačine (10), ali sa slobodnim izborom polinoma $T(z^{-1})$, što se može koristiti u cilju širenja oblasti robustne stabilnosti. Ali, definisanje unutrašnjeg modela poremećaja nije više nezavisno od postupka sinteze u spoljnoj konturi i umesto (8), rešava se identitet

$$z^{-1-k} A(z^{-1}) + B_1(z^{-1})\Phi(z^{-1}) \equiv C(z^{-1})R_d(z^{-1}) \quad (13)$$

Implementacija NF filtra se podrazumeva. Sada, polinom $P_r(z^{-1})$ sledi iz sledeće Diophantineove jednačine [1]

$$z^{-1-k} P_r^o(z^{-1}) + B_{1r}(z^{-1})\Phi_r(z^{-1}) \equiv K_{de}(z^{-1}) \quad (14)$$

gde polinom apsorpcije $\Phi_r(z^{-1})$ definiše klasu referentnih signala čije se praćenje zahteva bez greške u stacionarnom stanju. Dalja modifikacija predfiltra $P_r(z^{-1})$ može biti data izrazom

$$P_r^o(z^{-1}) = \frac{\prod_{i=1}^n (1 - b_i z^{-1})^i}{\prod_{i=1}^n (1 - b_i z^{-1})^i}$$

čime se postiže ubrzanje odziva od strane zadate vrednosti, a da se pri tome ne naruši postignuti kvalitet stacionarnog stanja, niti oblast robustne stabilnosti [1].

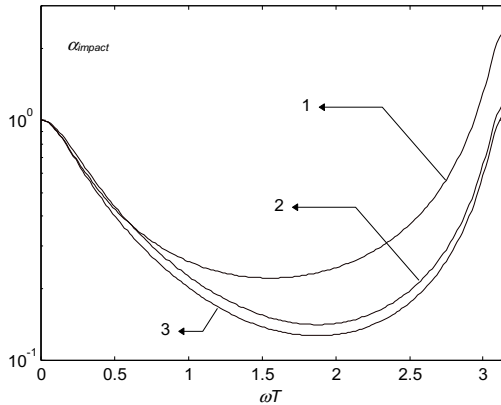
Bitna razlika u gore pokazanim prilazima sinteze IMPACT strukture se sastoji u kontroli i izboru rešenja Diophantineove jednačine. U tom smislu, izložene prilaze sinteze ne treba sagledavati isključivo odvojeno u njihovim specifičnostima. Oni su rešenja istog problema i zavisno od konkretne aplikacije treba kombinovati njihove prednosti i mogućnosti. Ipak, gore sistematizovani prilaz sinteze u nizu primera pokazuje prednost u svakom pogledu, a što je ilustrovano slikama 2 - 4 (praktično, radi se samo o selekciji rešenja istih Diophantineovih jednačina). Ilustrativan primer je zasnovan na nominalnom diskretnom modelu objekta

$$W^o(z^{-1}) = \frac{z^{-4}(1.1 + z^{-1})}{1 - 0.7z^{-1} + 0.15z^{-2}}$$

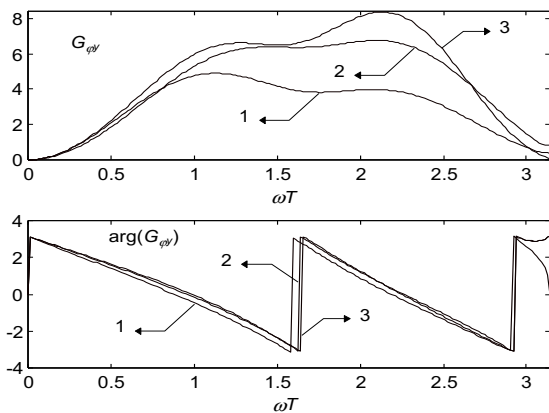
željenoj funkciji spregutog prenosa

$$G_{de}(z^{-1}) = 0.7z^{-4}/(1-0.3z^{-1})$$

polinomu apsorpcije generalisanog poremećaja $\Phi(z^{-1}) = (1-z^{-1})^2$, i naravno IMPACT strukturi. Sagledavamo tri slučaja: 1) – sistematizovani pristup sinteze sa potpunim izborom polinoma $R(z^{-1})$, 2) pristup kada se polinom $R(z^{-1})$ računa ($T = 1$), i kada 3) sinteza spoljne konture teče primenom sada već standardne metode podešavanja polova [6, 7].



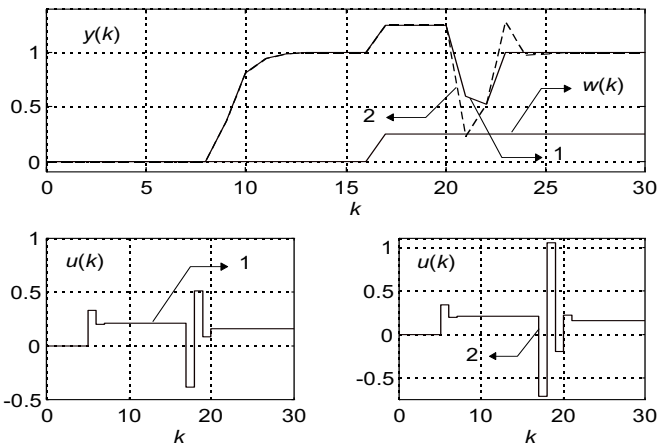
Sl. 2. Amplitudno frekvencijske karakteristike inverzne komplementarne funkcije osetljivosti IMPACT strukture - α



Sl. 3. Karakteristike funkcije prenosa koja definiše uticaj generalisanog poremećaja na izlaznu promenljivu

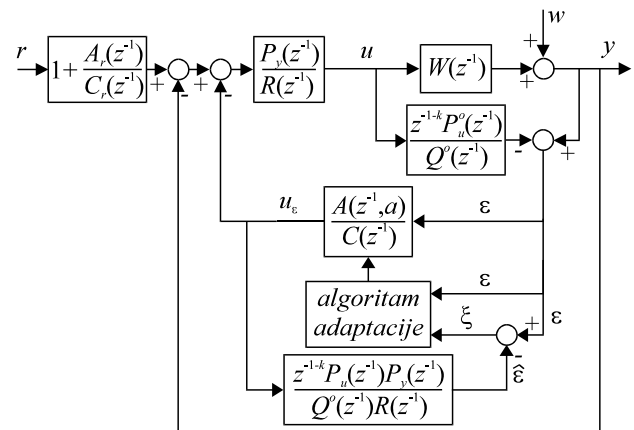
Predložen pristup sinteze IMPACT strukture (pod 1)) je upoređen i u vremenskom domenu (Sl. 4) sa rešenjem koje se dobija primenom utemeljenog pole-placement pristupa [6]. Rezultati simulacije pokazuju da i u slučaju kada je realizovana ista funkcija prenosa sistema, i uključen isti apsorpcioni filter u IMPACT strukturu - zavisno od primenjenog koncepta parametarske sinteze osobine strukture mogu biti različite. Praktično, radi se samo o različitom izboru "pravog" rešenja iz skupa mogućih rešenja Diophantineove jednačine. Međutim, ovde je, u datom primeru, pokazano da sistematizovani postupak parametarske sinteze daje bolje performanse i u pogledu robustnosti (Sl. 2), ali i

efikasnosti otklanjanja uticaja poremećaja na upravljaju promenljivu (Sl. 3 i 4), kao i u pogledu dinamike promene upravljačke promenljive (Sl. 4).



Sl. 4. Odzivi sistema u slučaju $r(k)=h(k-5)$, $w(k)=0.25h(k-17)$
1) sistematizovan pristup 2) primena podešavanja polova po [6]

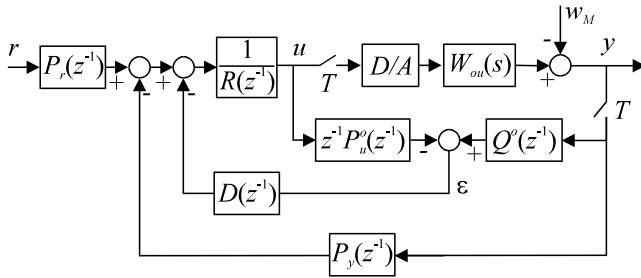
U uslovima specifičnih primena IMPACT strukture mogu biti korišćene brojne modifikacije radi povećanja njene efikasnosti. U slučaju kada ne postoji dovoljan nivo apriornih informacija o karakteru poremećaja, moguće je koristiti adaptaciju u unutrašnjem modelu poremećaja kako je to pokazano na Sl. 5, dok je detaljan postupak sinteze objašnjen u [5].



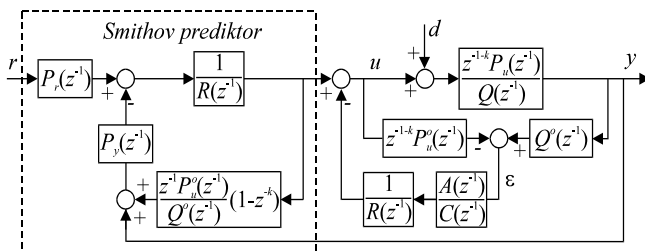
Sl. 5. IMPACT struktura sa adaptacijom u unutrašnjem modelu poremećaja

Na Sl. 6 je dat pojednostavljen oblik IMPACT strukture koji je polaz za projektovanje sistema bez transportnog kašnjenja. Struktura još više dobija na upotrebnoj vrednosti ako se umesto polinoma predviđanja $D(z^{-1})$ upotrebi jednostavan prediktivan filter (LSN prediktor, na primer) sa jednim podešljivim parametrom. Takav podešljiv parametar ima direktan i jasan uticaj na filterske i robustne osobine sistema, koje se tada jednostavno mogu prepodešavati [1]. S druge strane, ukoliko upravljani proces unosi značajno transportno kašnjenje [9], adekvatna forma IMPACT strukture je prikazana na Sl. 7. Po sličnom principu moguće je sprezanje

pogodnosti IMPACT strukture i sa drugim konvencionalnim zakonima upravljanja.



Sl. 6. IMPACT struktura brzinskog ili pozicionog servomehanizma



Sl. 7. IMPACT struktura sa Smithovim prediktorom

Modifikovani strukturni pristupi (poput prikazanih na Sl. 6 i 7) imaju za cilj da pojednostave postupak sinteze kada to omogućavaju specifičnosti upravljanog procesa. Pri tome, sledeći cilj je dobijanje upravljačke strukture sa malim brojem podešljivih parametara koji imaju jasno fizičko značenje. Takvi koncepti IMPACT strukture su već predloženi u slučaju sporih industrijskih procesa i digitalno upravljanih elektromotornih pogona [1, 9, 10]. Pomenutim modifikacijama [9, 10] omogućen je direktan uticaj na filterske, dinamičke i robustne osobine sistema i to promenom relativno malog broja podešljivih parametara.

5. IMPACT – PRAVCI BUDUĆEG RAZVOJA

Dosadašnji radovi su pokazali da korišćenje IMPACT strukture u opštem slučaju doprinosi:

- Apsorpciji uticaja očekivane klase poremećaja, i/ili u što većoj meri potiskivanju uticaja proizvoljnih neme-rljivih poremećaja, na stacionarnu vrednost izlazne promenljive.
- Željenoj dinamičkoj performansi sistema, i
- Visokom stepenu robustne stabilnosti i performanse sistema

Pored navedenog, IMPACT struktura može biti primenjena za sve tipove objekata upravljanja, uključujući nestabilne objekte i objekte neminimalne faze. Drugo, struktura omogućava nezavisno podešavanje prelaznog procesa odziva od strane zadate vrednosti i dinamike otklanjanja efekata poremećaja, što se primenom izvesnih strukturnih modifikacija, zavisno od konkretnog slučaja

primene, može realizovati sa malim brojem podešljivih parametara koji imaju jasno fizičko značenje.

Generalno, sinteza IMPACT strukture je zasnovana na nominalnom modelu objekta upravljanja, i željenoj funkciji spregnutog prenosa sistema, pri čemu nema nikakvih dilema da izbor i nominalnog modela iz familije modela upravljanog procesa, i izbor željene funkcije prenosa, utiču na robustne osobine sistema. Nije poznato kako iz definisane familije objekata upravljanja (tj. modela koji opisuju OU) izabrati nominalni model objekta tako da na njemu bazirana sinteza upravljačke strukture da najširu oblast robustne stabilnosti. Razvoj takve metodologije je interesantan izazov za oblast robustnog upravljanja, generalno. Slično važi i za izbor željene funkcije spregnutog prenosa. U ovom smislu, izvesne preporuke postoje, ali opšta metodologija nije razvijena [11]. Za sada se uglavnom rukovodimo pravilom da manja frekvencijska propustnost željene funkcije prenosa povlači za sobom širu oblast robustne stabilnosti, i to jednostavno pravilo često biva eksploatisano kod struktura koje se lako mogu prepodešavati. Izbor “prave” funkcije spregnutog prenosa zapravo znači kvalitetan postupak usklađivanja realnih karakteristika objekta upravljanja i ambicije da se dostigne izvesna performansa sistema. Preambiciozni zahtevi dovode do preosetljivosti sistema na greške modeliranja, neprihvatljive dinamike upravljačke promenljive i kasnije do nužnih prepodešavanja parametara upravljačkog algoritma.

IMPACT struktura je zasnovana na rešavanju dve Diophantineove jednačine, koje u opštem slučaju imaju beskonačan broj mogućih rešenja. Put rešavanja opisan u [6, 7], vodi do polinoma najnižeg mogućeg reda koji su rešenja jednačina. Različiti pristupi parametarske sinteze znače izbor ili eliminaciju izvesnih faktora unutar budućih rešenja Diophantineove jednačine (koja se inače rešava metodologijom opisanom u [6]), i to nije ništa drugo nego selekcija rešenja polazne Diophantineove jednačine. U ovom radu je pokazano da je moguća selekcija rešenja koje omogućava bolje performanse sistema u svakom smislu: šira oblast robustne stabilnosti, bolja dinamika upravljačke promenljive i efikasnije otklanjanje uticaja poremećaja, istovremeno, bez pravljenja često nužnih kompromisa. Pri tome, u sva tri razmatrana slučaja, korišćena je ista struktura, isti polazni parametri (nominalni model OU, željena funkcija spregnutog prenosa, model poremećaja), i, zapravo, reč je samo o selekciji rešenja Diophantineove jednačine. Predloženi postupak sinteze IMPACT strukture dao je efikasniji rezultat od utemeljenog pole-placement pristupa [6], i takav rezultat je ubedljivo ilustrovan, ali matematički dokaz nije dat. Zato ne možemo da tvrdimo da smo predložili proceduru koja selektuje najbolja rešenja Diophantineovih jednačana u smislu potiskivanja poremećaja i projektovanja robustne stabilnosti. Naime, problem rešavanja Diophantineovih jednačina (8) i (10), tako da rešenja minimiziraju frekvencijsku funkciju

$$\left| \frac{W(z^{-1}) - W^o(z^{-1})}{W^o(z^{-1})} \right|_{|z^{-1}|=e^{-j\omega}} < \left| \frac{C(z^{-1})(Q^o(z^{-1})R^o(z^{-1}) + z^{-1-k}P_u^o(z^{-1})P_y^o(z^{-1}))}{z^{-1-k}P_u^o(z^{-1})(P_y^o(z^{-1})C(z^{-1}) + Q^o(z^{-1})A(z^{-1}))} \right|_{|z^{-1}|=e^{-j\omega}}$$

radi što efikasnijeg potiskivanja poremećaja, i da istovremeno, radi šire oblasti robustne stabilnosti, bude obezbeđen i maksimum frekvencijske funkcije

$$\left| \frac{W(z^{-1}) - W^o(z^{-1})}{W^o(z^{-1})} \right|_{|z^{-1}|=e^{-j\omega}} < \left| \frac{C(z^{-1})(Q^o(z^{-1})R^o(z^{-1}) + z^{-1-k}P_u^o(z^{-1})P_y^o(z^{-1}))}{z^{-1-k}P_u^o(z^{-1})(P_y^o(z^{-1})C(z^{-1}) + Q^o(z^{-1})A(z^{-1}))} \right|_{|z^{-1}|=e^{-j\omega}}$$

još uvek čeka rešenje.

6. ZAKLJUČAK

U opštem slučaju, sinteza Tsyppkinove IMPACT strukture se svodi na rešavanje dve Diophantineove jednačine, čija rešenja garantuju apsorpciju specificirane klase generalisanog poremećaja i željeno dinamičko ponašanje sistema. Rešavanje Diophantineove jednačine može biti složen zadatak, koji unosi izvesne stepene slobode u fazi parametarske sinteze. Predloženi prilaz daje bolje rešenje parametara strukture i u pogledu robustnosti, kao i u pogledu dinamičkih performansi sistema. Ipak u radu je posebno notiran problem selekcije rešenja Diophantineove jednačine, i postavljen je u najopštijem smislu problem koji čeka na dalje rešavanje. Takođe, u radu su izloženi osnovni alternativni koncepti parametarske i strukturne sinteze digitalne IMPACT strukture.

LITERATURA

- [1] M.S. Matijević, "Razvoj novih struktura digitalno upravljanih elektromotornih pogona i industrijskih procesa", doktorska disertacija, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 2001.
- [2] M.R. Stojić, Lj.S. Draganović, M.S. Matijević, "Pregled i svojstva upravljačkih struktura sa unutrašnjim modelima", (rad po pozivu) Zbornik XLIII Konf. ETRAN-a, Zlatibor, 1999.
- [3] Ya.Z. Tsyppkin and U. Holmberg, "Robust stochastic control using the internal model principle and

internal model control" *Int. J. Control*, vol. 61, N°4, P 809-822, 1995.

- [4] H. S. V. I. N. L., "Θ η λ θ ε γ ο μ α π θ λ μ μ ν θ η κ φ { λ ζ τ π η π θ ε κ ρ ν ο β φ ε λ η ~ μ α ψ ε ι θ κ η β ρ π φ μ β η ~ τ μ χ ο λ η - ω ε λ λ μ < λ ε μ ν ο ε δ ε φ ε λ μ π θ η", A β θ μ κ . η P ε φ ε κ ε τ . , N°9 , π . 139-159, 1992.
- [5] M.R. Stojić, M.S. Matijević, "Structural design of digital control systems with immeasurable arbitrary disturbances", *The 9th Mediterranean Conference on Control and Automation*, Dubrovnik, 2001.
- [6] K. Astrom and B. Wittenmark, *Computer controlled systems*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1984.
- [7] K. Ogata, *Discrete-time control systems*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 1995
- [8] M.S. Matijević, "Novi prilazi parametarske sinteze IMPACT strukture", Zbornik XLVI Konf. ETRAN-a, Banja Vrućica, 2002.
- [9] M.R. Stojić, M.S. Matijević and Lj.S. Draganović, "A robust Smith predictor modified by internal models for integrating process with dead time", *IEEE Trans. On AC*, Vol. 46, N°8, P. 1293-1298, August 2001.
- [10] M. R. Stojić, M. S. Matijević, "Application of internal models in the design of digitally controlled electrical drives", *Electronics*, Vol. 6, N°2, P. 31-36, 2002.
- [11] K. Astrom, "Fundamental limitations of control system performance", In A. Paulraj, V. Roychowdhury, and C. D. Schaper, editors, *Communications, Computation, Control and Signal Processing - A Tribute to Thomas Kailath*, pp. 355-363, Kluwer, Boston, 1997.

SUMMARY

IMPACT STRUCTURE – POSSIBLE IMPROVEMENTS AND APPLICATIONS

This paper considers capabilities of parameter design digital SISO IMPACT (Internal Model Principle and Control Together) structure and its modifications in special application. The suggested approach of parameter design allows the suitable solution of fitting the parameters of the IMPACT structure concerning the system robustness and dynamic performance of the system. The most important issue of parameter design is the optimization of solution of Diophantine's equation. Possible future developments are suggested.

Key words: IMPACT structure, Computer control, Internal model, Diophantine's equation