

## POTISKIVANJE PERIODIČNIH POREMEĆAJA U SINTEZI DIGITALNO UPRAVLJANIH ELEKTROMOTORNIH POGONA

Milan S. Matijević, *Mašinski fakultet u Kragujevcu*  
Milić R. Stojić, Slobodan N. Vukosavić, *Elektrotehnički fakultet u Beogradu*

**Sadržaj** – U radu su izloženi osnovni koncepti upravljanja koji podrazumevaju korišćenje specijalnih metoda za kompenzaciju periodičnih poremećaja poznatog perioda, i/ili praćenje periodičnih referentnih trajektorija bez greške u stacionarnom stanju. Pored opisa konvencionalnih metoda sinteze zasnovanih na principu unutrašnjeg modela poremećaja (IMP – Internal Model Principle), predložena je upotreba manje opšteg ali efikasnijeg modela poremećaja periodičnih signala. U razmatranje je uzeta i IMPACT struktura (Internal Model Principle and Control Together) u specijalnom slučaju njene primene - sistemu digitalnog upravljanja brzinskim servomehanizmom i prisustvu poremećaja periodičnog karaktera. Pokazane su prednosti koncepta upravljanja zasnovanog na IMPACT strukturi i to pre svega u pogledu fleksibilnih mogućnosti njene primene za efikasno potiskivanje efekata poremećaja i projektovanje robustne performanse sistema.

### 1. UVOD

Termin "Repetitive Control Systems (RCS)" se odnosi na posebnu klasu sistema čiji upravljački algoritmi imaju sposobnost kompenzacije periodičnih poremećaja poznatog perioda, ili praćenja periodičnih referentnih trajektorija bez greške u stacionarnom stanju [1,2]. Takvi poremećaji se javljaju u mnogim inženjerskim primenama. Na primer, u sistemima za memorisanje podataka, ekscentriteti putanja na disku generišu periodično promenljivu željenu trajektoriju i zahtevaju periodično kretanje glave za čitanje i upis podataka na frekvenciji rotacije diska da bi se održalo perfektno praćenje. Kod elektromotornih pogona javljaju se poremećajni momenti periodičnog karaktera na frekvenciji rotacije motora. Neuravnoteženost koja se javlja kod rotacionih mašina prouzrokuje periodične momentne poremećaje na frekvenciji rotacije obrtnih delova. Frekvencija izvora energije je takođe u korelaciji sa pojavom periodičnih poremećaja. Periodični poremećaji proizvoljne forme se javljaju u mnogim sistemima upravljanja mašinskim procesima obrade i montaže delova, kod industrijskih robota, NC mašina, u automatizovanom glodanju, kod rotacionih mašina kao što su strugovi i štamparske mašine [1].

Mnoge metode za kompenzaciju periodičnih poremećaja su razvijene i za kontinualne i za digitalne sisteme upravljanja [1-5]. Neke metode su projektovane specijalno za sinusne poremećaje i lako se mogu proširiti na kompenzaciju multipla sinusnih poremećaja, te su prema tome primenljive na generalan periodičan slučaj. Niskopropusne karakteristike fizičkih sistema, s druge strane, znače da generalno samo nekoliko harmonika periodičnih signala poremećaja je potrebno razmatrati. Prema [2] postoje dva glavna prilaza potiskivanja sinusnog poremećaja. Jedan prilaz je adaptivno prenosno upravljanje (AFC-Adaptive Feedforward Control), koji se sastoji u tome da se sinusni poremećaj potiskuje

dovođenjem dodatnog inverznog sinusnog signala na ulaz objekta, pri čemu se amplituda i faza poremećaja estimiraju adaptivno. Drugi prilaz je zasnovan na principu unutrašnjeg modela (IMP), odnosno principu apsorpcije.

U ovom radu je objašnjen koncept konvencionalnih RCS sistema zasnovanih na principu apsorpcije, ili IMP principu. Predložen je i testiran novi model prostoperiodičnih poremećaja čijim uvođenjem u upravljačku strukturu se postiže eliminisanje efekata poremećaja na izlaz sistema sa znatno kraćim trajanjem prelaznog procesa. Posebna pažnja je posvećena IMPACT strukturi u sintezi digitalno upravljanoj elektromotornog pogona i prisustvu poremećaja periodičnog karaktera. Za izveden oblik IMPACT strukture, simulacijom su ilustrovane mogućnosti strukture u pomenutim uslovima njene primene. Pokazano je da se primenom predloženog rešenja mogu ostvariti bolje performanse sistema nego do sada.

### 2. PRINCIP APSORPCIJE I PRINCIP UNUTRAŠNJEG MODELA (IMP)

U slučaju da poremećaj može biti modeliran funkcijom koja je rešenje homogene diferencijalne ili diferencne jednačine poznatog reda, moguće je na jasan i jednostavan način izvršiti modifikaciju strukture kontrolera tako da greška stacionarnog stanja sistema bude u potpunosti otklonjena. Pomenuta homogena diferencijalna, odnosno, diferencna jednačina predstavlja unutrašnji model, a sam postupak modifikacije kontrolera u navedenom smislu podrazumeva korišćenje principa unutrašnjeg modela. Princip unutrašnjeg modela (IMP) je nastao kao važan doprinos u sintezi servosistema [6], i to puno kasnije nego što je Kulebakin svojim radovima zasnovao teoriju selektivne invarijantnosti [7, 8]. Bitan rezultat koji je nastao iz ovih razmatranja jeste princip selektivne invarijantnosti ili princip apsorpcije.

Suštinske razlike između principa apsorpcije i principa unutrašnjeg modela (IMP) ne postoje, a njihova primena obezbeđuje rešenje regulacionog problema bez mnogo algebarskih detalja. Svrha korišćenja principa apsorpcije je otklanjanje uticaja determinističkih poremećaja, odnosno bitno potiskivanje uticaja stohastičkih poremećaja na upravljanoj promenljivoj u stacionarnom stanju. Prema principu apsorpcije, model poremećaja mora biti sadržan u algoritmu upravljanja. Princip apsorpcije se sastoji u projektovanju unutar sistema upravljanja apsorpcionog filtra na čiji ulaz se dovodi signal poremećaja.

Razmotrimo postupak sinteze apsorpcionog filtra, odnosno, polinoma apsorpcije u slučaju kompenzacije efekata poremećaja  $f(t)$  kod digitalnih sistema. 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) se zove jednačina ekstrapolacije ili predviđanja [9]. Kao uslov apsorpcije poremećaja zadate klase, sada se može postaviti jednačina kompenzacije

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

gde je

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

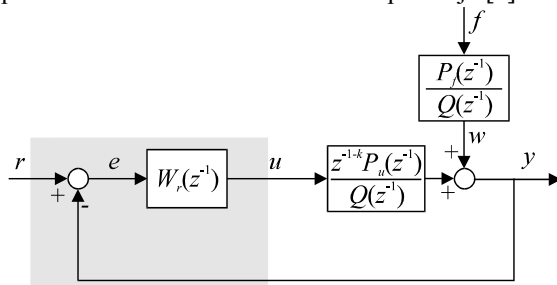
polinom kompenzacije ili apsorpcioni filter, a  $F(z^{-1})$  kompleksni lik poremećaja. Pri dovoljno potpunoj apriornoj informaciji o poremećaju, polinom predviđanja  $D(z^{-1})$  se određuje jednostavno, polazeći od modela poremećaja u vremenskom domenu. Međutim, u složenijim slučajevima nije jednostavno doći do pogodnog modela poremećaja, što otežava sintezu apsorpcionog filtra. Zato je u [1] pokazan eksplicitan postupak određivanja polinoma apsorpcije koji za krajnji rezultat ima sledeću relaciju

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

Pri nedovoljnom nivou apriornih informacija o poremećajima koristi se adaptivan prilaz, koji omogućava da se i u uslovima neodređenosti dobije ocena klasa poremećaja koji deluju na sistem [10]. I u slučaju stohastičkih poremećaja, moguća je sinteza adekvatnog apsorpcionog filtra. Recimo, stohastički poremećaj koji je nastao dvostrukom integracijom belog šuma će biti apsorbovan filtrom  $\Phi(z^{-1}) = (1 - z^{-1})^2$ , koji se koristi i u slučaju nagibnog, odnosno linearnog poremećaja.

### 3. RCS SISTEMI ZASNOVANI NA IMP

Specijalan slučaj sistema zasnovanih na principu apsorpcije jesu RCS sistemi. Ili, sa druge strane posmatrano, neke strukture sistema sa periodičnim poremećajima (RCS) mogu biti tumačene kao specijalni slučajevi sistema sa unutrašnjim modelom poremećaja. Praktična primena principa apsorpcije se sastoji u tome da se unutar upravljačke strukture implementira adekvatan apsorpcioni filter radi kompenzacije specifične klase poremećaja. U slučaju RCS sistema, bitne pretpostavke su da je period poremećaja poznat i da ne varira tokom vremena. Uspešna primena principa apsorpcije poremećaja zavisi od kvaliteta (tj. tačnosti) korišćenog modela poremećaja i načina implementacije apsorpcionog filtra u strukturi SAU. Generalno, način implementacije apsorpcionog filtra jeste problem strukturne sinteze sistema i opšte preporuke u ovom smislu za sada nisu definisane. Uobičajen pristup korišćenja unutrašnjeg modela poremećaja u direktnoj grani SAU povlači za sobom kompromis između stabilnosti i tačnosti praćenja [1].



Sl. 1. Digitalan sistem upravljanja

U slučaju diskretnog sistema upravljanja sa Sl.1,  $W_r(z^{-1})$  je funkcija diskretnog prenosa koja opisuje upravljačku strukturu sistema;  $Q(z^{-1})$ ,  $P_u(z^{-1})$  i  $P_f(z^{-1})$  - polinomi po kompleksnoj promenljivoj  $z^{-1}$  ( $Q(0) = P_f(0) = 1$ ,  $P_u(0) \neq 0$ ), koji opisuju objekat upravljanja;  $r$  i  $f$  - referentni signal i signal poremećaja, respektivno. Saglasno principu apsorpcije, funkcija prenosa upravljačkog dela strukture je

$$W_r(z^{-1}) = \frac{S(z^{-1})}{B_1(z^{-1})\Phi(z^{-1})} \quad (5)$$

te se sintezom adekvatnog polinoma kompenzacije  $\Phi(z^{-1})$  obezbeđuje nulta greška stacionarnog stanja sistema. U slučaju da se dinamika promene referentnog signala i poremećaja bitno razlikuju, treba posebno projektovati adekvatne polinome  $\Phi_r(z^{-1})$  i  $\Phi_f(z^{-1})$  za apsorpciju greške praćenja usled dejstva referentnog signala i poremećaja, respektivno; te je

$$\Phi(z^{-1}) = \Phi_f(z^{-1})\Phi_r(z^{-1}) \quad (6)$$

Za poremećaje periodičnog karaktera važi

$$\Phi(z^{-1}) = 1 - z^{-N} \quad (7)$$

gde je  $N$  broj perioda odabiranja koji je sadržan u periodu periodičnog signala. Čest je slučaj da su nule polinoma  $\Phi$  na jediničnom krugu (za odskočni signal -  $\Phi(z^{-1}) = 1 - z^{-1}$ , nagibni -  $\Phi(z^{-1}) = (1 - z^{-1})^2$ , itd.). Otuda se posebno vodi računa da su polinomi  $S$  i  $\Phi$  međusobno prosti, jer bi u suprotnom zajedničke nule ovih polinoma postale polovi sistema sa zatvorenim povratnom spregom (što bi ugrozilo uslov asimptotske stabilnosti sistema). Polinomi  $S(z^{-1})$  i  $B_1(z^{-1})$  se dobijaju kao rešenja Diophantineove jednačine

$$Q(z^{-1})\Phi(z^{-1})B(z^{-1}) + z^{-1-k}P_u(z^{-1})S(z^{-1}) = K_{de}(z^{-1}) \quad (8)$$

gde je  $K_{de}(z^{-1})$  željeni karakteristični polinom sistema. Postupak sinteze treba da omogući asimptotsku regulaciju ili praćenje sa adekvatnim karakteristikama sistema u pogledu stabilnosti i kvaliteta prelaznog procesa. Treba imati u vidu da se za velike vrednosti  $N$  (videti 7) rešavanje jednačine (8) usložnjava, i da može rezultovati polinomom  $S$  jako visokog reda. Dok implementacija apsorpcionog filtra  $\Phi(z^{-1}) = 1 - z^{-N}$  u kontroleru nije sporna, visok red polinoma  $S$  može biti problematičan za rad kontrolera u realnom vremenu. Drugo, već je pomenuto da unutrašnji model,  $1 - z^{-N}$ , ima svih  $N$  karakterističnih korenova na jediničnom krugu, koji predstavlja granicu stabilnosti za diskretne sisteme. Takva osobina utiče na visoku osetljivost sistema na nemodeliranu dinamiku. Problem stabilizacije i proširenja oblasti robustne stabilnosti RCS sistema se rešava modifikacijom unutrašnjeg modela, tako da se karakteristični korenovi, posebno na visokim frekvencijama pomeraju unutar jediničnog kruga.

$$\Phi(z^{-1}) = 1 - q(z^{-1})z^{-N}, \quad |q(e^{-j\omega})| \leq 1, \quad \forall \omega \geq 0 \quad (9)$$

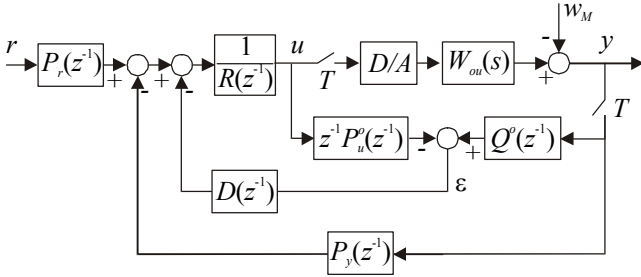
Posle izvršene modifikacije (9), kompenzacije zahtevane klase poremećaja se može izvršiti samo približno. Tako nastaje protivurečnost između tačne kompenzacije periodičnog poremećaja i robustne performanse sistema. Mogućnosti projektovanja NF filtra  $q(z^{-1})$  ovde neće biti notirane. Međutim, koristeći ideju iz [11], ovde će po prvi put do sada biti predložena mogućnost sinteze polinoma apsorpcije za specijalan slučaj periodičnih signala koji su parne ili neparne funkcije vremena

$$\Phi(z^{-1}) = 1 + z^{-N/2} \quad (10)$$

Predloženi filter (10) ima dvostruko kraće trajanje prelaznog procesa u odnosu na konvencionalni apsorpcioni filter (7).

#### 4. RCS SISTEMI I IMPACT STRUKTURA

Na Sl.2 je prikazan specijalan slučaj Tsypkinove IMPACT strukture kada objekat upravljanja ne sadrži transportno kašnjenje, i koji može biti primenjen u slučaju digitalno upravljanih elektromotornih pogona [1]. Signal  $w_M$  modelira uticaj momenta opterećenja na izlaz sistema  $y$  - odnosno, na signal ugaone brzine ili pozicije, zavisno od toga da li se radi o brzinskom ili pozicionom servomehanizmu, respektivno.



Sl. 2. IMPACT struktura digitalnog sistema upravljanja

Upravljački deo strukture na Sl. 2 je dat u funkciji polinoma po kompleksnoj promenljivoj  $z^{-1}$ . Objekat upravljanja  $W_{ou}(s)$  može biti predstavljen svojim nominalnim diskretnim modelom

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

koji je eksplicitno implementiran u strukturi kao nominalni dvoulazni unutrašnji model objekta upravljanja. Signal  $\epsilon$  estimira uticaj generalisanog poremećaja na upravljanoj promenljivoj, odnosno uticaj spoljašnjeg poremećaja i neodređenosti nominalnog modela objekta. Nepreciznosti modeliranja mogu biti adekvatno opisane multiplikativnom granicom neodređenosti  $\alpha(\omega)$

$$W(z^{-1}) = W^o(z^{-1})(1 + \delta W(z^{-1})) \quad (11)$$

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

Tada, sistem na Sl. 2 ispunjava uslov robustne stabilnosti ako je nominalni sistem stabilan i ispunjena relacija

$$\alpha(\omega) < \left| \frac{Q^o(z^{-1})R^o(z^{-1}) + z^{-1}P_u^o(z^{-1})P_y(z^{-1})}{z^{-1}P_u^o(z^{-1})(P_y(z^{-1}) + Q^o(z^{-1})D(z^{-1}))} \right|_{z^{-1}=e^{-j\omega T}}, \quad \omega \in [0, \pi/T]$$

što je praktično uslov radne sposobnosti sistema. Robustna performansa sistema se postiže funkcionisanjem unutrašnje konture sistema. Naime, zadatak unutrašnje konture jeste da potisne efekte generalisanog poremećaja na izlaznu promenljivu. Unutrašnja kontura se sastoji iz unutrašnjeg modela poremećaja i dvoulaznog modela objekta upravljanja, koji je određen polinomima  $z^{-1}P_u^o(z^{-1})$  i  $Q^o(z^{-1})$ . U slučaju objekta upravljanja koji ne unosi transportno kašnjenje, unutrašnji model poremećaja se svodi na polinom predviđanja  $D(z^{-1})$ , čijim izborom se ima uticaj na robustnu performansu sistema i apsorpciju željene klase poremećaja. Recimo, za slučaj poremećaja odskočnog karaktera ima se da je  $D(z^{-1})=1$ , dok se  $D(z^{-1})=2-z^{-1}$  odnosi na klasu

linearnih poremećaja, itd. U slučaju periodičnog poremećaja perioda  $NT$ , gde je  $T$  perioda odabiranja digitalnog sistema, polinom predviđanja je

$$D(z^{-1}) = z^{-(N-1)} \quad (12)$$

dok, u slučaju superpozicije poremećaja čiji su polinomi predviđanja  $D_1$  i  $D_2$  rezultujući polinom predviđanja je oblika

$$D(z^{-1}) = D_1(z^{-1}) + D_2(z^{-1}) - z^{-1}D_1(z^{-1})D_2(z^{-1}) \quad (13)$$

Prema standardnom postupku sinteze, za objekte minimalne faze, podrazumeva se da je

$$R(z^{-1}) = P_u^o(z^{-1}) \quad (14)$$

Elementi spoljne konture strukture  $P_r(z^{-1})$  i  $P_y(z^{-1})$  određuju dinamičko ponašanje sistema sa zatvorenim povratnom spregom, i njihova sinteza teče nezavisno od unutrašnje konture. Željeni spektar polova sistema može biti specificiran na osnovu zadatog koeficijenata relativnog prigušenja  $\zeta$  i neprigušene prirodne učestanosti  $\omega_n$ . Pri tom, uzimajući u obzir nultu grešku stacionarnog stanja za odskočni signal na ulazu, željena funkcija spregnutog prenosa je oblika

$$G_{de}(z^{-1}) = \frac{(1 - (z_1 + z_2) + z_1 z_2) z^{-2}}{1 - (z_1 + z_2) z^{-1} + z_1 z_2 z^{-2}} \left( = \frac{z^{-1} P_r(z^{-1})}{Q^o(z^{-1}) + z^{-1} P_y(z^{-1})} \right)$$

gde je

$$z_{1/2} = e^{\pm s_{1/2} T}, \quad s_{1/2} = -\zeta \omega_n \pm j \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (15)$$

a polinomi  $P_r(z^{-1})$  i  $P_y(z^{-1})$  se računaju saglasno željenoj funkciji spregnutog prenosa

$$P_r(z^{-1}) = (1 - (z_1 + z_2) + z_1 z_2) z^{-1} \quad (16)$$

$$P_y(z^{-1}) = 1 - (z_1 + z_2) + z_1 z_2 z^{-1}$$

čime je proces parametarske sinteze završen. Treba imati u vidu da izbor polinoma koeficijenata relativnog prigušenja  $\zeta$  i neprigušene prirodne učestanosti  $\omega_n$  utiče na dinamička svojstva sistema sa jedne strane, ali i na robustnost i filterarske osobine sistema sa druge strane. Pitanja modifikacije strukture u slučaju prisustva mernog šuma ovde neće biti razmatrana. Zadržaćemo se samo na pogodnostima IMPACT strukture čiji je polinom predviđanja nezavistan deo strukture i čija sinteza teče jednostavno u skladu sa potrebama RCS sistema koji su predmet ovog razmatranja.

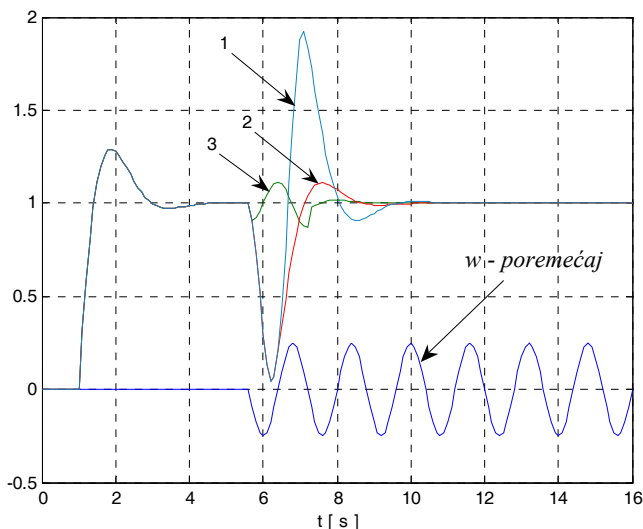
#### 5. ILUSTRATIVAN PRIMER

Efekte primene opisanih struktura su testirani u slučaju sinteze digitalno upravljanih brzinskog servomehanizma sa jednosmernim motorom u ulozi izvršnog organa. Za objekat upravljanja je usvojen robotski motor U12M4T sa  $K=4.38$  i  $T_m=0.32s$  ( $W_{ou}(s)=K/(T_m s+1)$ ). Željena performansa sistema je definisana potrebom apsorpcije periodičnog poremećaja ( $w(t)=0.25\sin(3.927t)h(t-5.6)$ ), stepenom relativnog prigušenja  $\zeta=1$ , i neprigušenom prirodnom učestanošću  $\omega_n=2.5$  rad/s, odnosno, zadatom funkcijom spregnutog diskretnog prenosa

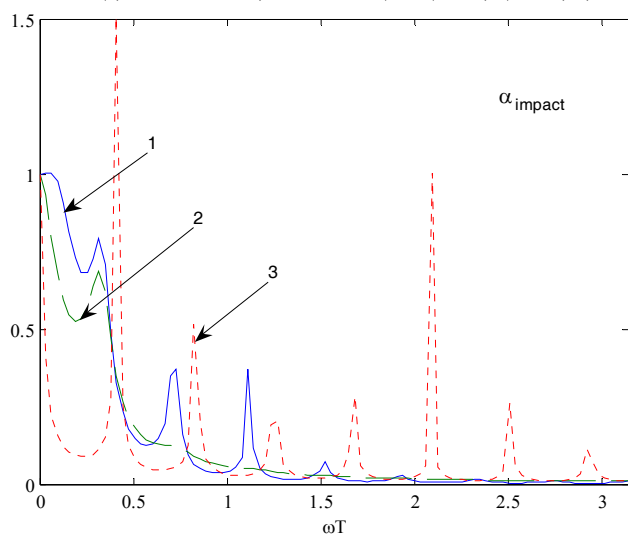
$$G_{de}(z^{-1}) = \frac{0.312898z^{-1} - 0.259182z^{-2}}{1 - 1.687103z^{-1} + 0.740818z^{-2}}$$

Izabrana je perioda odabiranja  $T=0.1s$ , te je  $N=16$  (videti (7), (10), i (12)). U skladu sa unutrašnjim modelima poremećaja

(7), (10) i (12), i željenom funkcijom prenosa, definisani su polinomi upravljačkih struktura tipičnog RCS sistema sa unutrašnjim modelom poremećaja (7) i (10), i IMPACT strukture. Rezultati simulacije pokazuju da IMPACT struktura može da ostvari bolje robustne i dinamičke performanse, pogotovu ako se polinom apsorpcije, koji se inače nezavisno implementira u strukturu, proširi tako da obuhvati i slučaj poremećaja šireg karaktera. Efikasnost korišćenja predloženog filtra (10) je takođe ilustrovana rezultatima simulacije (Sl. 3.). Slučaj 3) na Sl.4, se poklapa sa slučajem RCS sistema sa  $\Phi(z^{-1}) = (1 - z^{-N})$  (pod 1), Sl3.).



Sl. 3. Odziv sistema na  $r(t) = h(t-1)$ : 1) RCS ( $\Phi = 1 - z^{-N}$ ) 2) RCS sa  $\Phi(z) = 1 + z^{-N/2}$ ; i 3) IMPACT ( $\Phi = (1 - z^{-N})(1 - z^{-1})^2$ )



Sl. 4. Amplitudno frekvencijske karakteristike komplementarne funkcije osetljivosti IMPACT strukture ( $N=16$ ): 1)  $\Phi = (1 - z^{-N})(1 - z^{-1})^2$  2)  $\Phi = (1 - z^{-N})(1 - z^{-1})$  3)  $\Phi = (1 - z^{-N})$ .

## 6. ZAKLJUČAK

Primena IMPACT strukture u sintezi RCS sistema pokazuje prednosti u odnosu na do sada korišćene strukture zasnovane na principu apsorpcije poremećaja. U slučaju IMPACT strukture nije nužno praviti kompromise između robustne performanse sistema i kompenzacije poremećaja. Negativan uticaj periodičnih signala može biti apsorbovan u potpunosti. Takođe, nominalni karakteristični polinom IMPACT strukture ne zavisi od unutrašnjeg modela

poremećaja, te su njenom primenom izbegnute teškoće vezane za rešavanje Diophantineove jednačine (8) pri sintezi RCS sistema sa unutrašnjim modelom.

## LITERATURA

- [1] M.S. Matijević, "Razvoj novih struktura digitalno upravljanih elektromotornih pogona i industrijskih procesa", doktorska disertacija, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 2001.
- [2] W. Messner and M. Bodson, "Design of adaptive feedforward algorithms using internal model equivalence", *Int. J. Control*, vol. 9, pp. 199-21, 1995.
- [3] M. Tomizuka, "On the desing of digital tracking controllers", *ASME J. of Dynamic Systems, Measurement and Control*, vol. 115, N°2, pp. 412-418, 1993.
- [4] Я.З. Цыпкин, "Новые классы дискретных периодических систем управления", *Автом. и Телемех.*, N°12, с. 76-92, 1994.
- [5] K.K. Chew and M. Tomizuka, "Digital control of repetitive errors in disk drive systems", *IEEE Control Magazine*, vol. 10, N° 1, pp. 16-20, 1990.
- [6] V.A. Francis and W.M. Wonham, "The internal model principle for linear multivariable regulators", *Appl. Math. Opt.*, vol. 2, N°3, pp. 170-194, 1975.
- [7] В.С. Кулебакин, "О поведении непрерывно возмущаемых автоматизированных линейных систем", *Докл. АН СССР*, Т.68, О°5, с. 73-79, 1949.
- [8] В.С. Кулебакин, "Операторное К(Г) изображение функций и его практическое применение", *Тр. ВВИА и м. Жуковского*, Вып. 695, с. 59, 1958.
- [9] Я.З. Цыпкин, "Адаптивно инвариантные дискретные системы управления", *Автом. и Телемех.* N°5, с. 96-121, 1991.
- [10] M. R. Stojić, M. S. Matijević, "Disturbance invariant speed controlled servo drive with Tesla's induction motor", *Proc. International IEEE Conference TELSIKS 2001*, Niš, September 19-21, 2001
- [11] S.N. Vukosavić and M.R. Stojić, "Suppression of torsional oscillations in a high-performance speed servo drive", *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 45, N°1, pp. 108-117, 1998.

**Abstract** – One of the main tasks of control system is to track the reference signal, in the presence of external disturbances, without steady-state error. This paper describes different controlling structures that using the principle of absorption suppress known periodical repetitive disturbances. The IMPACT structure, primarily developed by Ya.Z. Tsyppkin, is especially useful for the implementation of absorption principle and use in RCS systems, because in its application there are no opposite requirements between the system stability and inclusion of the internal model of expected disturbance into the control portion of the structure. The presented structure is flexible for use, and very suitable for rejection external disturbances and design robust system performance.

## SUPPRESSION OF REPETITIVE DISTURBANCES IN DIGITALLY CONTROLLED ELECTRICAL DRIVES

Milan S. Matijević, Milić R. Stojić and Slobodan N. Vukosavić