Nelinearni sistemi upravljanja 2

Projekat 1

Buck-Boost DC-DC konvertor

Feedback linearizacija

Klizno upravljanje  
  
  
  
  
  
  
  
Studenti:

Marina Mojsilović 0211/2017

Viktor Todosijević 0050/2017

Table of Contents

[Feedback linearizacija 3](#_Toc59324219)

[Teorijski uvod 3](#_Toc59324220)

[Transformacija stanja 8](#_Toc59324221)

[Projektovanje FL+I 9](#_Toc59324222)

[Rezultat FL+I 9](#_Toc59324223)

[Praćenje reference i eliminacija poremećaja 9](#_Toc59324224)

[Osetljivost sistema na šum 16](#_Toc59324225)

[Robusnost 16](#_Toc59324226)

[Klizno upravljanje -Sliding-Mode Control 16](#_Toc59324227)

[Teorijski uvod 16](#_Toc59324228)

[Projektovanje kliznog upravljanja SMC 21](#_Toc59324229)

[Rezultat SMC 21](#_Toc59324230)

[Praćenje reference,eliminacija poremećaja,osetljivost na šum 21](#_Toc59324231)

[Robusnost 21](#_Toc59324232)

[Projektovanje kliynog upravljanja sa graničnim slojem 21](#_Toc59324233)

[Rezultat SMC+BL 21](#_Toc59324234)

[Praćenje reference,eliminacija poremećaja,osetljivost na šum 21](#_Toc59324235)

[Robusnost 21](#_Toc59324236)

# Feedback linearizacija

## Teorijski uvod

Razmatramo SISO nelinearni objekat gde su f i g vektori (nelinearnih) funkcija:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (1) |
|  |  | (2) |

Diferenciranjem jednačine izlaza (2) po vremenu , dobija se

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3) |

gde su : „Lie-v izvod h u odnosu na f”

„Lie-v izvod h u odnosu na g”

Ako je , tada je tj. nezavisno od u i diferenciranje (3) daje

Ako je sada, tada je ( nezavisno od u) I tako sve do nekog r-tog diferenciranja kada :

i

**Def:**

Sistem (1),(2) na domenu D ima relativni red r, 1 ≤ r ≤ n, ako važi važi:

Za SISO NL (1),(2) relativnog reda r, povratna sprega po stanjima

ostvaruje linearnu ulazno-izlaznu relaciju (feedback linearizaciju ulaz-izlaz):

**Def:**

Transformacija je difeomorfizam na domenu D ako važe sledeći uslovi:

* T(x) je kontinualno-diferencijabilno preslikavanje za
* T(x) poseduje kontinualno diferencijabilnu inverziju ,

takvu da

Za sistem, , relativnog reda r < n, razmotrićemo izbor funkcija , koje obezbeđuje difeomorfizam

**Teorema:** Za sistem , ,relativnog reda r ≤ n, za svako postoji D takva da:

* Za r= n, je difeomorfizam na domenu D,
* Za r<n, je difeomorfizam D, pod uslovom

Model u prostoru transformisanih stanja

Rezultujući model u prostoru transformisanih stanja(„pola puta”)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4) |

Možemo još zapisati i kao

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  | | --- | --- | --- | |  |  | (5) | |  |

Modeel sa p[otpuno transformisanim stanjima:

gde

Ako je xe R.S u originalnom prostoru u prostoru transformisanih stanja je R.S.

Ako izaberemo tako da pored zadovoljenja uslova zadovolji i tada će se ostvariti ze=0 tj. R.S. u koordinatnom početku transformisanog prostora stanja.

Uslov nulte dinamike kada iz (4) i (5) kada

**Definicija:** Jednačina je nultadinamika sistema. Sistem je minimalno fazni ako nultas dinamika poseduje G.A.S.R.S. u domenu od interesa (R.S. je u koordinatnom početku ako je T(xe)=0)

Za sistem (1),(2) relativnof reda r≤n, pronađen je odgovarajući difeomorfizam T(x) i dobijen je model u normalnoj formi (4).

Primenom FL zakona dobija se sistem Z.S.

U našem slučaju prema FL generišemo upravljački signal tako da rešimo problem praćenja reference uz integralno dejstvo.

Praćenje reference na bazi feedback linearizacije možemo ostvariti stabilizacijom sistema greške praćenja u nuli.Za svođenje na problem stabilizacije potrebna je transformacija u sistem greške.

Izbor daje

sa karakterističnim polinomom

gde

Izbor koeficijenata određuje dinamiku praćenja reference ili stabilizaciju u koordinatnom početku prostora stanja e.

Ukoliko želimo da eliminišemo poremećaj ne nužno tipa početnih uslova dodajemo i integralno dejstvo. To radimo proširivanjem sistema greške praćenja dodatnim stanjem – integralom greške praćenja.

Te je karakteristični polinom reda r+1:

## Transformacija stanja

Jednačine stanja buck-boost DC-DC konvertora su sledeće:

Gde je i , struja kalema i napon kondenzatora respektivno.

Kako jednačine nisu date u kanoničnoj formi potrebno je transformisati stanja sistema. Ipak, za ovako izabranu funkciju izlaza izborom za prvo transformaciono stanje dobija se sistem čiji je relativni red sistema . Štaviše, pokazuje se da takav sistem ima nestabilnu nultu dinamiku. Jasno je da treba potražiti drugu transformaciju.

Transformacija koja daje relativni red sistema data je sledećim izrazima:

Gde je nova funkcija izlaza definisana izrazom:

I važi:

## Projektovanje FL+I

Nakon što smo pronašli transformaciju koja obezbeđuje relativni red sistema jednak apsolutnom redu sistema i prebacili se u sistem greške, potrebno je postaviti polove fidbek linearizovanog sistema.

Kada se u jednačinu (VIDI GORE) zameni dobija se sledeći karakteristični polinom

Neka je željeni karakteristični polinom oblika

Izjednačavanjem koeficijenata dobijamo

Neka nam je željeni propusni opseg , onaj propusni opseg koji obezbeđuje dominantnu vremensku konstantu koji smatramo zadovoljavajućom za primene datog sistema. Izraz (VIDI GORE) se može aproksimirati karakterističnim polinomom

odakle se vidi da je propusni opseg sistema odakle sledi da je .

### Rezultat FL+I

Sprovođenjem simulacije nad modelom buck-boost DC-DC konvertora u *Simulink*-u dobijeni su sledeći grafici.

### Praćenje reference i eliminacija poremećaja

Na ulaz kontrolera doveden je signal reference (slika 1.) koji treba da prvo dovede sistem u nominalno stanje , zatim dodaje negativan step signal u vrednosti od polovine nominalne vrednosti i zatim vraća u nominalno stanje. Nakon toga sistem je pobuđen pozitivnim step signalom vrednosti pola nominalne vrednosti i opet se vraća na nominalnu vrednost. U poslednjoj šestini simulacije u sistemu deluje step poremećaj ulaznog napona (Slika 2.) vrednosti jedne trećine ulaznog napona.

Treba napomenuti da je između reference i kontrolera postavljen prefiltar radi blažih prelaza pri promeni reference. Vremenska konstanta prefiltra je



Slika 1. Signal reference.



Slika 2. Ulazni napon.

Na slici 3. možemo videti izlaz sistema – napon kondenzatora, tokom simulacije, a na slici 4. upravljanje – relativno vreme uključenosti tranzistora tokom jedne periode prekidanja. Možemo zaključiti da sistem prati referencu bez greške u stacionarnom stanju i da potpuno potiskuje poremećaj. Sa slike 4. možemo videti da upravljanje ni u jednom trenutku ne ulazi u zasićenje. Da bi se ovo postiglo, iz zakona upravljanja isključeni su viši izvodi reference na račun neznatnog slabljenja performansi.



Slika 3. Napon kondenzatora.

Slika 4. Upravljanje.

Pri prelasku sistema iz početnog u nominalno stanje (slike 5. i 6. ) sistem se bez preskoka spušta u nominalno stanje za vreme koje je optrilike nešto manje od zbira ranije aproksimirane dominantne vremenske konstante i vremenske konstante prefiltra reference.



Slika 5. Dovođenje sistema iz početnog u nominalno stanje.



Slika 6. Upravljanje pri dovođenju sistema iz početnog u nominalno stanje.

Pri pozitivnim, kao i pri negativnom promenama reference (slike 7. i 8.) odziv ima karakteristike koje smo viđali kod linearnih sistema minimalne faze, gde pri promeni reference odziv inicijalno ide u suprotnom smeru. Sumnjamo da je to posledica ’neminimalnofaznosti’ sistema kada je funkcija izlaza . Pored toga odzivi su bez preskoka. Na slikama 9. i 10. možemo bolje videti tranzijente upravljanja pri promenama reference.



Slika 7. Odziv pri negativnoj promeni reference.



Slika 8. Odziv pri pozitivnoj promeni reference.



Slika 9. Upravljanje pri negativnoj promeni reference.



Slika 10. Upravljanje pri pozitivnoj promeni reference.

Pri promeni ulaznog napona za jednu trećinu, što smatramo velikim poremećajem, vidimo da se izlaz sistema (slika 11.) brzo oporavlja (oko 20 ms) i da je amplituda greške relativno mala ( < 5 % stacionarne vrednosti). Sa slike 12. vidimo da se upravljanje brzo ustali na novoj stacionarnoj vrednosti i da nema znatnih udara upravljanja.



Slika 11. Odziv pri poremećaju ulaznog napona.



Slika 12. Upravljanje pri poremećaju ulaznog napona.

Sa faznog portreta sistema (slika 13.) možemo videti da se neregulisana promenljiva sistema ustaljuje na vrednostima od oko , a da u tranzijentima nikada ne prelazi .



Slika 13. Kretanje promenljivih u faznoj ravni.

### Osetljivost sistema na šum

### Robusnost

# Klizno upravljanje -Sliding-Mode Control

## Teorijski uvod

Posmatramo SISO nelinearan objekat u afinoj formi po upravljanju

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |

Ideja kliznog upravljanja je da se obezbedi posredno dostizanje željene radne tačke kroz kretanje sistema iz početnog uslova do klizne površi ,a potom po kliznoj ravni do željene tačke.

Da bi garantovali da sistem ne napušta kliznu ravan mora važiti .

Međutim proverom upravljanja pod ovim uslovom direktnim metodom Ljapunova utvrđuje se da samo ali nužno tj. ne garantujemo da sistem dostiže kliznu ravan i ne teži joj.

Stoga biramo upravljanje

Izvod funkcije klizne površi glasi:

DMLJ garantuje da sistem iz proizvoljnog početnog uslova teži kliznoj površi.

Može se dokazati da je vreme dostizanja klizne površi

, gde je polazno stanje sistema

Treba obezbediti još drugu fazu kretanja u kojoj sistem Z.S. po kliznoj ravni “dokliza“ do željene tačke tj. koordinatnog početka.

Ograničavamo se na objekat relativnog reda r ≤ n, za koji je pronađen difeomorfizamT(x) i dobijen model u normalnoj formi.

Biramo linearnu funkciju klizne površi

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | 6 |

Kretanje se vrši po kliznoj površi pa , ovo još možemo zapisati kao

Primena laplasove na prethodni izraz dobijamo

Odatle

Pod uslovom da karakteristični polinom ima sve korenove u LPR s-ravni

sistem zatvorene sprege se smiruje u koordinatnom početku prostora stanja z

Za linearnu funkciju klizne površi (6) dobijamo konkretnu formu linearnog kliznog upravljanja LMSC

Bez gubljena opštosti , pa se izraz upravljačkog signala svodi na

Primenom LMSC na model u normalnoj formi dobijamo

gde

a karakteristični polinom KKF dela sistema

U ovom zadatku fokusiramo se na praćenje reference i integralno upravljanje stoga na to elaboriramo

Praćenje reference svodimo na problem stabilizacije transformacijom u sistem greške

Rezultujući sistem je

Izbor koeficijenata određuje dinamiku kretanja po kliznoj ravni.

Uvođenje integralnog delovanja izvodimo na isti način kao i kod FBL prošitrivanjem sistema greške

Dobijeni sistem je uvećanog reda kao i karakteristični polinom

Ponovo, izbor koeficijenata k.p. određuje dinamiku kretanja po kliznoj ravni.

Klizno upravljanje sa graničnim slojem- Boundary Layer Sliding-Mode Control

Usled nemodelovane dinamike, transportnog kašnjenja, šuma itd. dolazi do chattering-a tj. sistem se ne kreće baš po kliznoj ravni već teži da je napušta tada se uključuje relejni član koji ga vraća.Ovakvo ponašanje ima visokofrekventni karakter i šteti aktuatoru.

Ova pojava se eliminiše zamenog relejnog člana u zakonu upravljanja saturacijom.

Parametar se naziva debljinom graničnog sloja.Novo upravljanje glasi:

Efekat BL SMC je da u opsegu odstupanje od 0 korigujemo efektivno linearnom povratnom spregom čime se gubi chattering

Uvrštavanjem efektivnog upravljanja u graničnom sloju u jednačine KKF dobijamo

tj. efektivno u graničnom sloju system je autonoman linearan i KKF.

Može se pokazati da važi

Što znači da je moguće podeliti postupak projektovanja u dve faze

1. Projektovanje SMC
2. BL-SMC modifikacija

## Projektovanje kliznog upravljanja SMC

### Rezultat SMC

### Praćenje reference,eliminacija poremećaja,osetljivost na šum

### Robusnost

## Projektovanje kliynog upravljanja sa graničnim slojem

### Rezultat SMC+BL

### Praćenje reference,eliminacija poremećaja,osetljivost na šum

### Robusnost