

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA UNIVERZITETA U BEOGRADU

Na svojoj sednici od 02.06.2015. Komisija za studije II stepena nas je odredila za članove Komisije za pregled i ocenu master rada kandidata **Uroša Šipetića**, dipl. inž., pod naslovom „**Primena LQG optimalnog upravljanja u zaštiti građevinskih objekata od zemljotresa**“. Komisija je pregledala priloženi rad i dostavlja Nastavno-naučnom veću sledeći

IZVEŠTAJ

1. Biografski podaci

Uroš Šipetić rođen je 23.06.1991. u Kragujevcu. Prvu kragujevačku gimnaziju završio je 2010. i iste godine upisao osnovne diplomatske studije na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Diplomirao je na odseku za Signale i sisteme 15. jula 2014. sa prosečnom ocenom 8,41. odbranivši diplomski rad na temu "Praćenje pokretnih objekata pomoću IMM algoritma" kod profesora Željka M. Đurovića sa ocenom 10. Iste godine upisao je master studije na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu na modulu Signali i sistemi, gde je položio sve ispite sa prosečnom ocenom 9,8.

2. Organizacija rada

Master rad sadrži 65 strana teksta zajedno sa naslovnom stranom, predgovorom, rezimeom i sadržajem rada, kao i sa spiskom literature. U radu se nalazi 11 slika i 4 tabele. Rad se sastoji od 9 poglavlja, uključujući i spisak literature od 13 referenci.

U prvom, uvodnom poglavlju definisan je problem nastanka štete na građevinskim objektima nakon udara zemljotresa i opasnosti koje zemljotresi mogu predstavljati po ljudske živote. Kao posebna kategorija izdvojeni su mostovi i nadvožnjaci jer predstavljaju elemente u saobraćajnoj infrastrukturi koji povezuju bitne tačke transporta. Dat je opis magnetoreoloških prigušnica nastalih izučavanjem novih vrsta aktivnih materijala i ukratko je opisan način kako bi takvi aktuatori mogli da se koriste za mitigaciju vibracija i šoka nastalih nakon udara zemljotresa. Kao algoritam upravljanja takvim prigušnicama predložen je *LQG* algoritam optimalnom upravljanja. Na kraju je opisan model nadvožnjaka 91/5 u južnoj Kaliforniji, razvijenog od strane univerziteta u Njujorku, na kojem će pomenute strategije upravljanja biti testirane.

U drugom poglavlju dat je pregled teorije optimalnog upravljanja sistemima i tehnika optimizacije. Objasnen je pojam optimalnosti u smislu postavljenog kriterijuma. Opisani su pristupi rešavanju problema optimalnog upravljanja: varijacioni račun, Pontrjaginov princip maksimuma, Belmanova ideja o dinamičkom programiranju (sa izvođenjem Hamilton-Jakobi-Belmanove jednačine) i matematičko programiranje, pod kojim su opisani Lagranžovi multiplikatori i Kun-Takerova teorema.

Treće poglavlje predstavlja opis *LQG* teorije optimalnog upravljanja. Najpre je dato izvođenje Kalmanovog filtra kao potrebnog alata u daljem radu. Zatim je opisano projektovanje *LQR* regulatora, da bi nakon toga poseban osvrt bio dat slučajevima kada nije moguće direktno meriti potrebna stanja, već ih je potrebno estimirati. Iz te potrebe, opisano je projektovanje optimalnog observera stanja u vidu Kalmanovog filtra i predstavljen je princip dualnosti između problema regulacije i problema estimacije pri projektovanju *LQG* algoritma.

U četvrtom poglavlju definisan je problem test modela nadvožnjaka. Opisano je kako je nastala potreba za ovakvim vidom testiranja i simulacija i kako je na osnovu nadvožnjaka iz južne Kalifornije razvijen model korišćen u daljem radu. Opisani su mogući tipovi strategija

upravljanja nad ovakvim sistemom: pasivna, aktivna i semi-aktivna strategija upravljanja, od kojih je dodatno posebno opisano semi-aktivno upravljanje sa implementiranim magnetskim prigušnicama na nadvožnjaku. Data je i šema nadvožnjaka sa skiciranim postavljenim senzorima i aktuatorima duž strukture. Kompletno je opisan rad magnetskih prigušnica odgovarajućim jednačinama i postupak modelovanja ovakvih naprava.

Peto poglavlje sadrži kompletan postupak projektovanja kontrolera za semi-aktivni tip upravljanja. Opisana je glavna problematika magnetskih prigušnica, a to je kašnjenje koje nastaje usled induktivnosti u kolu ovakvih naprava. To kašnjenje se ispoljava kao razlika napona koji se zadaje na ulazu prigušnica i napona koji stvarno deluje da bi se dobila odgovarajuća sila na izlazu. Kao rešenje predstavljen je dvo-stepeni kontroler, kod koga se primarnim kontrolerom dobijaju željene, optimalne sile koje bi prigušnice trebalo da daju na svom izlazu radi maksimalnog suzbijanja šoka usled zemljotresa, a sekundarnim kontrolerom se dobijaju naponi koji bi trebalo da komanduju te željene sile (ili barem sile približne željenim silama). Za primarni kontroler izabran je prethodno opisani *LQG* algoritam. Kao sekundarni kontroler predstavljeni su kontroler sa optimalnim klipovanjem i kontroler sa optimalnom inverzijom dinamike. Kontroler sa optimalnim klipovanjem je predstavljen kao jednostavniji kontroler koji menja napon između nulte i maksimalne vrednosti na osnovu heurističkog pristupa, dok je kontroler sa optimalnom inverzijom dinamike komplikovaniji kontroler koji kombinuje principe feedback linearizacije i statičke optimizacije, ali se za pozitivne osobine ovakvog kontrolera uzima to što daje eksplicitnu vezu sile od napona i što posebno razmatra dinamiku prigušnica u vidu opisanog kašnjenja u kolu. Takođe, u ovom poglavlju dat je i detaljan opis toka programa i svih korišćenih fajlova u programskom paketu MATLAB.

Šesto poglavlje predstavlja analizu rezultata dobijenih na osnovu opisanih strategija upravljanja. Na početku je dat opis seizmičkih pobuda u vidu šest zemljotresa snimljenih iz istorijskih prilika koji se koriste kao pobude na test modelu nadvožnjaka sa kojim raspolažemo. Takođe je opisan i set od 21 kriterijuma koji služe za evaluaciju predloženih kontrolera. Ceo tok jednog pokretanja simulacije izgleda tako što se prvo odabere tip upravljanja (pasivni, aktivni, semi-aktivni), gde je za semi-aktivni tip moguće odabrati i tip kontrolera, nakon čega se bira jedan od šest ponuđenih zemljotresa za pobudu nadvožnjaka. Nakon završetka simulacije, dobiju se vrednosti opisanog seta kriterijuma za trenutno izabranu strategiju upravljanja. Na kraju je datu poređenje kontrolera sa optimalnim klipovanjem i kontrolera sa optimalnom inverzijom dinamike u vidu pomenutog seta kriterijuma i objašnjene su osobine svakog od kontrolera.

U sedmom poglavlju izdvojen je i opisan neuro-fuzzy kontroler kao primer kontrolera baziranog na inteligentnim metodama rezonovanja. Ukratko je dat opis fuzzy sistema i neuralnih mreža i objašnjeno je da se neuralne mreže mogu koristiti za treniranje fuzzy kontrolera na osnovu dostupnog seta podataka, čime se parametri kontrolera sami podešavaju – nema potrebe za ručnim podešavanjem parametara. Ukratko je opisan i tok programa treniranja ovakvog kontrolera i napomenuto je da je kontroler istreniran se setom podataka dobijenih na osnovu već opisanog kontrolera sa optimalnim klipovanjem. Na kraju je dato poređenje ovakvog kontrolera sa kontrolerom sa optimalnim klipovanjem i vidu tabele sa setom evaluacionih kriterijuma, kao i poređenje svih do sad opisanih kontrolera u vidu grafika sa minimalnim, srednjim i maksimalnim vrednostima kriterijuma za sve kontrolere preko svih šest zemljotresa kao pobuda.

Osmo poglavlje je zaključak u kome je još jednom opisana tematika ovog rada – od postavke problema zaštite građevinskih objekata od zemljotresa, preko opisa magnetskih prigušnica kao izabranog tipa aktuatora, do opisa korišćenih algoritama upravljanja u predstavljenom scenariju. Još jednom je kratko opisana problematika magnetskih prigušnica i vidu kašnjenja u kolu i opisani su načini kako se pristupilo rešavanju tog problema. Pomenut je i model nadvožnjaka na kojem su testirani svi predloženi algoritmi i kao zaključak opisane su prednosti svakog od kontrolera i zbog čega se kontroler sa optimalnom inverzijom dinamike

pokazao kao kontroler sa najboljim osobinama u situacijama gde je potrebno implementirati dvo-stepene kontrolere.

3. Analiza rada sa ključnim rezultatima

Master rad kandidata Uroša Šipetića sadrži analizu i postupak projektovanja kontrolera za upravljanje magnetoreološkim prigušnicama implementiranih na test modelu nadvožnjaka razvijenog od strane univerziteta u Njujorku baziranog na nadvožnjaku 91/5 u južnoj Kaliforniji, sa ciljem minimizacije oštećenja koja mogu nastati nakon udara zemljotresa. Predloženi algoritmi daju zadovoljavajuće rezultate koji se vide na osnovu seta od 21 kriterijuma dobijenog nakon pokretanja simulacije za odgovarajuće pobude dostupnih zemljotresa. Ključni rezultat je izvedena eksplicitna veza sile od napona magnetskih prigušnica, sa razmatranom unutrašnjim dinamikom ovakvih naprava, u vidu kontrolera sa optimalnom inverzijom dinamike.

Uroš Šipetić je u prvom delu teze dao pregled teorije koja se koristi prilikom pravljenja sistema za optimalno upravljanje sistemima. U drugom delu teze je detaljno objasnio prirodu korišćenih aktuatora i funkcionisanje algoritama upravljanja. Opisao je i model korišćen za testiranje predloženih strategija upravljanja i analizirao performanse svih predloženih kontrolera. Implementacija algoritama i analiza performansi obavljena je pomoću programskog paketa MATLAB. Dobijene rezultate prikazao je u vidu slika i tabela i detaljno je opisao tok napisanog programa.

4. Zaključak i predlog

Kandidat Uroš Šipetić je u svom master radu uspešno savladao teorijske osnove optimalnog upravljanja sistemima, sa posebnim akcentom na *LQG* optimalno upravljanje. Ove teorijske osnove primenio je na dizajniranje kontrolera za upravljanje naponom magnetskih prigušnica u cilju zaštite građevinskih objekata od zemljotresa. Predložene metode su testirane na test-modelu nadvožnjaka 91/5 u južnoj Kaliforniji razvijenog od strane univerziteta u Njujorku.

Kandidat je iskazao samostalnost i sistematičnost kao i inovativne elemente u rešavanju problematike ovog rada.

Na osnovu gore navedenog Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu da prihvati rad pod naslovom “ **Primena *LQG* optimalnog upravljanja u zaštiti građevinskih objekata od zemljotresa** ” dipl. inž. Uroša Šipetića kao master rad i odobri javnu usmenu odbranu.

Beograd, 10.09.2015.

Članovi Komisije:


Prof. dr. Željko Đurović


Doc. dr. Goran Kvašček