

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд
за придобиване на образователна и научна степен „Доктор”

Област на висше образование: 5. Технически науки
Професионално направление: 5.1 Машинно инженерство
Докторска програма: Хидравлични и пневматични задвижващи системи

Автор на дисертационния труд: Маг. инж. КРАСЕН ИВАНОВ КОСТОВ

**Тема на дисертационния труд: ИНТЕЛИГЕНТНО УПРАВЛЕНИЕ НА
ЕЛЕКТРОХИДРАВЛИЧНА ЗАДВИЖВАЩА
СИСТЕМА**

Рецензент: Проф. д-р инж. Генчо Стойков Попов
Русенски университет „Ангел Кънчев“

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем.

Хидравличните задвижващи системи намират много голямо приложение в съвременната техника, като в някои случаи те са незаменими елементи от такива технически решения. Предвид все по-широкото изискване към възможностите за изграждане на автоматизирани машини и съоръжения се налага изискването за разработване и вграждане на електрохидравлични системи с автоматично управление. Независимо, че такива системи се използват от доста време, те преди всичко такива с класически методи за управление, базирани на линейни закони. В последно време все по-често се поставят повишени изисквания по отношение ефективност при управление на нелинейни системи, подобрени качествени показатели на преходните процеси при промяна на работните условия и др. Развитието на електрохидравличните следящи системи наред с непрекъснато подобряване на техните динамични характеристики, устойчивост и точност на управление налагат използването на различни подходи за синтез на управляващи устройства. В последно време такива устройства са базирани на интелигентни и робастни методи, като размита логика, адаптивно управление и подходящ синтез на регулатори. Имено в тази посока са проведените изследвания в настоящето дисертационно изследване, което е безспорен показател за актуалността на разработената дисертация.

2. Обзор на цитираната литература

Списъкът с ползваната литература включва 117 източника, като преобладаващата част от тях са на латиница. Прави впечатление, че литературните източници от последните 10-12 години представляват около (10-15)% от всички, като основната част са тези след 2005 год.

Анализът на основната част от ползваната литература е представен в Глава 1

„Състояние на проблема. развитие на електрохидравличните задвижващи системи“. Тук са дадени подробни сведения за съвременните електрохидравлични следящи системи – предимства, недостатъци и техни особености. Разгледани са принципната структура на електрохидравлични следящи системи и характерни техни елементи, намиращи широко приложение в автоматизирани електрохидравлични задвижващи системи – електрохидравлични разпределители с усилвател дюза – преграда, класически регулатори и техните закони за управление и др. Особено внимание е отделено на автоматични електрохидравлични системи с интелигентно управление – с размито управление, с хибридно управление, с невронно управление и такива с невро-размито управление. Наред с чисто описателната част на отделните въпроси е направен критичен анализ на възможностите на тези нови и перспективни направления в теорията на автоматичното управление на съвременни технически системи. Не става напълно ясно обаче конкретното приложение на тези методи в автоматизирани хидравлични системи, не се привеждат данни (теоретични, експериментални или натурни), получени от други изследователи. Като цяло се остава с впечатлението, че тепърва в дисертацията ще се разработват такива, като в тази посока са и част от изводите. Ако това е така трябва много ясно да се заяви този факт.

В края на тази глава е представен един много добър сравнителен анализ (табл. 1.2) на различни подходи за управление на електрохидравлични следящи системи. Всичко това дава възможност на докторанта ясно да формулира целта на дисертационното изследване и удачно да формулира произтичащите от нея задачи за решаване.

3. Методика на изследването.

Методиката на изследването е добре изяснена, като включва както теоретични, така и експериментални изследвания. Тя напълно отговаря на широко използваната структура на дисертационно изследване в областта на машинното инженерство – съставяне на математични (или физични) модели с последващи експериментални изследвания за валидиране на моделите и получаване на числени стойности на въведени специфични показатели.

Глава 2 е посветена на разработването на математичен модел на електрохидравлична следяща система с ротационен изпълнителен механизъм. Описани са базовите уравнения за изследване динамиката на електрохидравличната система, основните от които са:

- Уравнение за въртенето на вала на хидромотора. Тук е нужно да се отбележат някои некоректни записи, а именно: зависимостта за двигателния момент, която в действителност е за теоретичния (хидравличния) момент на хидромотора, независимо, че е включен член в общото уравнение за т.н. коефициент на хидравлично триене (вискозно съпротивление). Добре известно е, че в обемните хидромашини основни са триещите сили (моменти) основно в уплътнителните триещи хлабини, като вискозното триене не е определящо. Тук и по-нататък може би е добре да се ползва подходящ модел за загубите (хидромеханични и обемни) в ротационните хидромашини.

- Уравнения на дебитите, протичащи през разпределителното устройство.

- Уравнения за дебитите, постъпващи към лявата (дясната) страна на

хидромотора.

- Уравнения на сумиращото устройство и на електронния PID регулатор
- Уравнение за преместване на плунжера на пропорционалния разпределител.

На базата на тези уравнения след подходящо преобразуване е представен моделът в операторен вид и е разработена структурната схема на системата. В програмната среда Matlab е изследвана устойчивостта на системата. Следваща стъпка е разработване нелинеен компютърен модел в средата MATLAB/Simulink. Ценен резултат от изследването на този модел са направените препоръки за практическа реализация на електрохидравлични следящи системи с ротационен изпълнителен механизъм, чрез сравнителен анализ на различни варианти на изпълнение на такива системи и различни работни условия.

Проведените експериментални изследвания на автоматичната електрохидравлична следяща система с класически регулатори са дадени в Глава 3. Разработена е съвременна експериментална уредба, даваща възможност за широки изследвания на динамичните процеси в хидравлични задвижващи системи. Оборудвана е с необходимата измервателна апаратура, което позволява извършването на прецизни изследвания. Добре би било при описанието на експерименталния стенд да се дадат сведения за техническите характеристики на отделните елементи и да се направи оценка на точността на определяне на основните величини.

Извършени са голям брой измервания на преходните процеси на изследваната следяща система, като резултатите са представени във формата на записи на управляващите и контролираните величини. Подробно са анализирани получените експериментални данни, получени при изследване на отворена и затворена система. Показани са предимствата на затворената система спрямо тази от отворен тип както по отношение зоната на нечувствителност на следящия разпределител, така и по отношение на динамичните процеси.

Разработен е и математичен модел на компенсацията на зоната на нечувствителност в затворена електрохидравлична следяща система, с цел изследване интегралното действие на използвания регулатор за преодоляване положителното припокриване на пропорционалния разпределител.

В Глава 4 е извършена идентификация на параметрите, включени в динамичните модели на изследваната електрохидравлична система. Тук задачата е определяне на числените стойности на неизвестни коефициенти в математическия модел, с цел резултатите от модела да съответстват максимално на наблюдаваното поведение на реалния обект. Като изходни величини, които се използват за сравняване, са ъгловата скорост на вала, падът на налягане и натоварването на хидромотора. Тези три величини са основа на въведения квадратичен критерий за качество при решаване на идентификационната задача като оптимизационен проблем.

Сравнителният анализ на преходните процеси при промяна на ъгловата скорост на въртене на вала на хидромотора (фиг. 4.10), получени от експерименталните изследвания, и тези след извършване на идентификация, показва много добро съвпадение. Това дава основание за извода, че математичният модел, след идентификация, адекватно описва динамичното поведение на системата.

Важен момент от извършеното в тази глава са заключенията, че получените

идентифициран модел е подходящ за анализ на динамични режими, за синтез на регулатори, за оптимизация на управляващи алгоритми и за провеждане на подходящи числени експерименти

Последната Глава 5 е посветена на проектиране на интелигентно управление за електрохидравлична следяща система чрез използване принципите на размитата логика. Проведено е цялостно изследване на възможностите за приложение на съвременни интелигентни методи за управление на електрохидравлични следящи системи, като са разработени и сравнени три основни типа регулатори: класически PI/PID, размит (Fuzzy) регулатор, адаптивен размит PID регулатор (Fuzzy-PID) и робастен регулатор. Направеният сравнителен анализ на регулаторите показва, че с най-висока сложност са последните два. Много показателна по отношение динамичните характеристики на трите вида регулатори е фиг. 5.26, от която се вижда, че най-добър е чистият Fuzzy регулатор. Адаптивният Fuzzy-PID регулатор представлява оптимален компромис между бързодействие, плавност и робастност и е най-подходящ за реални индустриални приложения. Проведените експериментални изследвания на реална система с Fuzzy PID регулатор потвърждават симулационните резултати.

4. Приноси на дисертационния труд.

Получените резултати с приносен характер могат да се класифицират като научно-приложни и приложни. Приносите могат да се отнесат към групите: доказване с нови средства на съществени нови страни в съществуващи научни проблеми и теории; създаване на нови класификации, методи на изследване, нови конструкции; получаване и доказване на нови факти, както и получаване на потвърдителни факти.

Към приносите, получени от това дисертационно изследване, могат да се отнесат следните резултати:

1. Създадените редица математични модели, по—важните от които са:
 - моделът на електрохидравлична следяща система с ротационен изпълнителен механизъм, нелинейни диференциални уравнения от пети ред, описващи динамиката на хидромотора, дебитите през разпределителя, свиваемостта на течността, сумиращото устройство, PID регулатора и преместването на плунжера;
 - нелинейният Simulink модел с възможност за отчитане на реални нелинейности, като зона на нечувствителност на пропорционалния разпределител, насищане на дебита, хидравлично триене и свиваемост на течността;
 - математичният модел на компенсацията на зоната на нечувствителност.
2. Разработената апаратно-програмна система, позволяваща провеждане на прецизни експериментални изследвания в реален мащаб.
3. Получените статични и динамични характеристики на отворена система и идентифицираните нелинейности (dead zone, насищане, хистерезис).
4. Синтезираният ПИ регулатор, който осигурява нулева статична грешка и висока устойчивост към товарни смущения.
5. Резултатите и техният анализ от идентификация на параметрите на електрохидравличната следяща система.
6. Приложеният алгоритъм за нелинейна оптимизация.
7. Синтезираните размит (Fuzzy) регулатор, адаптивен Fuzzy-PID регулатор и

робастен регулатор.

8. Направените редица препоръки за приложение в практиката.

5. Публикации и цитирания на публикации по дисертационния труд

По дисертацията са публикувани 7 научни статии. Четири от публикациите са реферирани в SCOPUS, като една от тях има SJR = 0,20. Фактът, че основните резултати от извършеното изследване са представени на различни форуми и повечето са публикувани в индексирани списания, е предпоставка за по-широкото разпространение на проведените изследвания сред учените от областта на хидравличните и пневматични задвижвания.

Не са дадени сведения за цитиране от други автори на някои от тези публикации

6. Авторство на получените резултати

Не познавам лично докторанта и нямам преки впечатления от неговата работа, свързана с разработването на дисертационния труд. От приложената в началото на дисертацията декларация за авторския принос при разработване на тази дисертация, а именно: анализа на съществуващите методи за управление; разработването на математичните модели и алгоритми; провеждането на числени и експериментални изследвания и анализа получените резултати; синтезиране и изследване на Fuzzy, Fuzzy–PID и робастен регулатори, ми дава основание да приема че разработката на дисертационния труд е с основното участие на докторанта инж. Красен Костов. Определено считам, че всички тези изследвания са под прякото ръководство на неговите научни ръководители.

7. Автореферат и авторска справка

Основният текст е изложен на 47 страници, и считам, че е твърде голям по обем. Материалът е богато илюстриран чрез подходящи фигури, номерацията на които съответства на тази в дисертацията. Той представя в достатъчно пълна степен съдържанието на дисертационния труд и получените резултати от проведеното изследване.

8. Мнения, препоръки и забележки по дисертационния труд

Убедено мога да заявя, че дисертацията е изпълнена на много високо научно ниво, което е безспорен успех и на обучаващото звено от ТУ Габрово. Използвани са съвременни научни методи за изследване, които са повишили както теоретичните знания и умения на докторанта, така и възможностите му да провежда прецизни експериментални изследвания и да анализира получените резултати. Това е една чудесна база за евентуална по-нататъшна научна кариера.

Бих си позволил да отправя някои по-обща забележки:

- В прекалено голям обем е представената дисертацията (както и авторефератът)
- и като брой страници и като използван формат за тях. Би могло една част от представените резултати да се отделят в приложение на дисертацията, като в основния текст да се дадат анализите и заключенията по разглеждания въпрос.

– Определено считам, че докторантът е много добре подготвен по отношение изследване на съвременни автоматизирани системи за управление, но бих препоръчал в бъдещи изследвания да бъде по-прецизен при описание на основните зависимости за хидравличните и механичните показатели на хидросистемите. Все пак докторската програма е Хидравлични и пневматични задвижващи системи и трябва да се отчитат коректно всички особености на включените в системата елементи. Тъй като са въведени множество коефициенти, да се обърне по-голямо внимание за изясняване на техния физически смисъл и начина на пресмятане (приемане). Задължително да се посочват условията за които те са валидни, а при приемане на приближения в някои от основните уравнения да се аргументира по-добре използването на такъв подход.

– Забелязах някои несъответствия на цитираната в текста литература с тази, дадена в списъка (например източници 113 и 114), както и повторение на някои заглавия - [2] и [8].

Направените забележки в никакъв случай не омаловажават постигнатите резултати. Те имат по-скоро за цел подобряване на бъдещите изследвания на докторанта и подготовката на представянето на постигнатите резултати.

9. Заключение.

Извършена е значителна по обем изследователска работа от докторанта. Определено считам, че това е спомогнало както за неговата теоретична подготовка, така и на натрупване на опит при провеждане на прецизни експериментални изследвания. Съставени са редица математични модели, като на тяхна база са проведени съответни симулационни изследвания. Разработена е съвременна апаратно-програмна система (експериментален стенд), позволяваща провеждане на прецизни експериментални изследвания. Напълно са изпълнени образователните и научноизследователските изисквания за получаване на ОКС Доктор-инженер. Всичко това показва, че представеният дисертационен труд **отговаря** на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България.

Постигнатите резултати ми дават основание да оценя положително разработената дисертация и убедено да предложа на уважаемото Научно жури

да присъди образователната и научна степен „Доктор“

на маг. инж. КРАСЕН ИВАНОВ КОСТОВ

Област на висше образование 5 Технически науки

Професионално направление 5.1. Машинно инженерство,

Докторска програма Хидравлични и пневматични задвижващи системи.

07.08.2026 г.
гр. Русе

РЕЦЕНЗЕНТ: _____
/проф. д-р Генчо Попов/