

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. Дочо Светлозаров Димитров
Тема на дисертационния труд: ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДИНАМИЧНИ ПРОЦЕСИ ПРИ
УПРАВЛЕНИЕ С ШИРОЧИННО-ИМПУЛСНА
МОДУЛАЦИЯ НА ПНЕВМАТИЧНИ ДВИГАТЕЛИ

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

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем.

Електропневматичните позициониращи системи са широко разпространени в различни области на техниката. Все по-широко приложение в автоматизираните пневматични задвижващи системи намират такива с бързодействащи електромагнитни клапани, при които управлението често се реализира чрез широчинно-импулсна модулация (ШИМ). Такъв вид системи се характеризират с по-ниска стойност при изпълняване на изискванията, които се постигат с използването на пропорционални клапани. В същото време те се отличават със специфични динамични процеси, свързани с характеристиките на клапаните, компресията на въздуха и нелинейните свойства на пневматичните елементи. Факт е значителният интерес на редица изследователи към изясняване на тези особености, но все още има недостатъчно изяснени въпроси по отношение на динамичните процеси при управление с широчинно-импулсна модулация на пневматични двигатели. В този смисъл изследванията на процесите, протичащи в електропневматични системи, използващи бързодействащи 2/2 електромагнитни клапани правят актуален разработения дисертационен труд. Получените резултати ще дадат възможност за усъвършенстване на моделните изследвания и методите за управление на такива системи, както и за развитието на по ефективни и енергийно оптимизирани пневматични задвижвания.

2. Обзор на цитираната литература

При разработване на дисертацията, авторът е цитирал 140 литературни източници. По-голямата част от тези източници са от последните десетина година и отразяват актуалното състояние на изследванията в областта на автоматизираните пневматични задвижващи системи. Много добро впечатление прави фактът, че докторантът е цитирал значителен брой разработки, свързани с изследване на хидро- и пневмосистеми в основното научно звено – катедра Енергийна техника. Това показва, че

той е добре запознат с изследванията на колегите си, което му дава възможност да използва и надгради постиженията на колектива в тази област.

В Глава I „Анализ на състояние на проблема“ дисертантът е направил критичен анализ на ползваните литературни източници по основните проблеми на изследвания въпрос. Тук са включени:

- Анализ на съществуващи системи, използващи пропорционални клапани за управление. Показано е, че най-често използваният софтуерен пакет при такъв вид изследвания е MatLab-Simulink, като при създаване на прототипи и симулация на хардуер се използва PD (пропорционално - диференциален) контролер с размита логика (Fuzzy Logic Controller).

- Анализ на съществуващи проучвания и математически изследвания на модели на работата на пневматични цилиндри. Дадени са уравненията, включени в модел на електропневматичната система при изотермични условия.

- Анализ на съществуващи модели на задвижващи системи с електромагнитни клапани. Бързодействащи електропневматични 2/2 клапани (ON/OFF) – анализирани са няколко схеми на такива системи, като са посочени основните разлики между пропорционалните и бързодействащите 2/2 (ON/OFF) клапани.

- Анализ на съществуващите изследвания на управление с широчинно импулсна модулация (ШИМ - PWM) и аналогово управление. Този анализ застъпва най-широк кръг въпроси и е даден в най-голям обем, което напълно съответства на настоящето изследване.

Допълнително в тази глава са анализирани и разработки по отношение използване на математичен модел за дебита, преминаващ през електромагнитен 2/2 клапан, както и съществуващи математични модели на дебитната характеристика на пневматични бързодействащи клапани. Посочени са особеностите при използване на ПИД регулатори в системи за управление, както и такива с контролер с размита логика.

Всичко посочено по-горе ясно показва, че докторантът е запознат напълно с особеностите, предимствата и недостатъците и неизяснените достатъчно подробно проблеми в системите с използване на бързодействащи електромагнитни клапани. Това му дава възможност да формулира целта на дисертационното изследване и да се поставят 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. Към теоретичните изследвания могат да се отнесат разработването на модел на дебитната характеристика на бързодействащ пневматичен 2/2 клапан и на математичен модел на електропневматична позиционираща система с ШИМ управление, като широко се използва програмния пакет MathLAB. Експерименталните изследвания са свързани с изследване на скоростта на пневматичен цилиндър чрез използване на четири бързодействащи 2/2 клапани с ШИМ и определяне на статичните дебитни характеристики. Получените резултати са основа за симулиране и верифициране на математичния модел на електропневматична позиционираща система с ШИМ

управление на бързодействащи 2/2 клапани.

В Глава 2 е представен математичен модел за дебитната характеристика на бързодействащ 2/2 клапан. Разработена е схема на експериментална уредба и е дадена методиката на опитното изследване. Получените резултати за изследваните три типа 2/2 клапани са представени графично: за дебита $Q_{\text{кор}} = f(p_{\text{out}} / p_{\text{in}})$ и за коефициента на проводимост $c_v = f(p)$. Тук бих препоръчал за първия вид характеристики дебитът, както това е направено за налягането, да се представи в безразмерен вид (например спрямо някаква референтна стойност на дебита за всяко налягане или по друг подходящ начин). Това би дало възможност за един по-качествен анализ на тези опитни резултати и евентуално получаване на някаква обобщена зависимост.

Глава 3 е посветена на разработване на математичен модел на електропневматична позиционираща система с ШИМ. Описани са подробно уравненията на отделните елементи от една принципна система от този вид, които формират математичния модел на системата като цяло. Отчита се изменението на налягането в компресора и ресивера, отчита се динамиката на бързодействащите 2/2 клапани, силите от хидравличните съпротивления в пневматичния цилиндър и т.н. мъртав обем в края на хода (демпфериране) на буталото. Липсва обаче схема на изследваната електропневматична позиционираща система с ШИМ, в която да са включени четири бързодействащи клапани и по тази причина не става ясно описаният в края на главата (т.3.3) метод на работа за управление на такава система (може би става въпрос за дадената в следващата глава схема на фиг. 4.1).

Методът за управление на скоростта на пневматичен цилиндър с използване на бързодействащи 2/2 клапани с ШИМ и определяне на статичните характеристики на дебита са обект на изследване в Глава 4. В нея са дадени резултатите от проведени експериментални изследвания върху реална система, като е извършено валидиране на разработения математически модел на електропневматичната позиционираща система. Подробно са описани елементите, от които е синтезиран експерименталният стенд, с помощта на който са проведени опитните изследвания.

Разработен е виртуален инструмент в средата LabVIEW, представляващ система за управление и измерване на величините на електропневматична позиционираща система, реализирана чрез широчинно-импулсна модулация на бързодействащи електропневматични клапани.

Резултатите от експерименталните изследвания са дадени в графичен вид във формата на записи на изследваните величини. Те представляват изменение на няколко величини: налягане p , дебит Q , преместване на буталото y и изменение на неговата скорост във функция на времето t при няколко амплитуди на ШИМ – 20 Hz, 50 Hz, 70 Hz и 100 Hz и запълване на работния цикъл от 2 до 90 %.

Анализирани са динамичните характеристики на изследваната електропневматичната система при различните условия на изпитване. Резултатите от експерименталните данни съответстват с висока степен на математическото моделиране, което потвърждава адекватността на разработения математически модел.

Последната стъпка в това дисертационно изследване е верифициране на математичния модел на електропневматичната позиционираща система, използваща ШИМ управление. Това е извършено със сравнителен анализ на експерименталните

резултатите с тези от симулационните изследвания при различните амплитуди на управляващия сигнал и степени на запълване на работния цикъл. Сравнението е извършено на база графично представяне на теоретичните и експерименталните криви на съответните зависимости. Доброто съвпадение на двата вида резултати е показател за точността и работоспособността на разработения математичен модел на електропневматична позиционираща система с използване на широчинно-импулсна модулация на бързодействащи 2/2 електромагнитни клапани.

4. Приноси на дисертационния труд.

Посочените в дисертацията приноси са класифицирани като научно-приложни и приложни, което напълно подкрепям. Считаю, че те добре отразяват основните резултати, получени при това дисертационно изследване. Приносите могат да се отнесат към групите: доказване с нови средства на съществени нови страни на вече съществуващи научни области, проблеми, теории, хипотези и получаване на потвърдителни факти.

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

1. Създадените математични модели:
 - за дебитната характеристика на бързодействащи пневматични клапани тип 2/2 и експерименталната верификация на модела;
 - на бързодействащия 2/2 пневматичен клапан;
 - на електропневматичната позиционираща система с използване на широчинно-импулсна модулация на бързодействащи 2/2 електромагнитни клапани.
2. Създадените симулационни модели и получените експериментални резултати при изследване на преходните процеси и динамичните характеристики на изследваната електропневматична позиционираща с бързи клапани и ШИМ управление.
3. Разработената автоматизирана измервателна система за събиране, обработване и визуализация на експериментални данни при статични и динамични изследвания на електропневматични системи.
4. Разработените експериментални стендове:
 - за определяне на статичните дебитни характеристики на бързодействащи пневматични клапани SX12F на фирмата SMC;
 - за изследване динамични процеси на електропневматична позиционираща система с управление чрез широчинно импулсна модулация.
5. Предложеният енергийно ефективен електронен блок за ШИМ управление на бързодействащи пневматични клапани на електропневматични системи.
6. Експерименталното потвърждаване на резултатите от проведените симулации за влиянието на честотата на управляващия сигнал и коефициента на запълване на ШИМ сигнала върху динамичните характеристики на електропневматична позиционираща система

5. Публикации и цитирания на публикации по дисертационния труд

По дисертацията са публикувани 5 работи, едната от които е самостоятелна. Те са от научни конференции, като една от тях е от конференция в чужбина. Това, че те са

публикувани в трудовете на различни конференции у нас и в чужбина е една предпоставка за по-широко 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. Поради това не мога да формирам адекватно мнение по отношение авторството на проведените изследвания. Но имам много добри впечатления от работата на колектива от направление Хидро- и пневмо-задвижване на катедра Енергийна техника към ТУ Габрово и мога да приема, че разработката на дисертационния труд е с основното участие на докторанта инж. Дочо Димитров. Разбира се под прякото ръководство на неговия научен ръководител доц. д-р Христо Христов, който е много добре познат специалист сред колегиата, работеща в това научно направление. Най-точен отговор на въпроса може да се даде от научния ръководител и членовете на научното звено, в което се е обучавал докторантът.

7. Автореферат и авторска справка

Авторефератът е разработен в обем от 51 стр. и е оформен в доста голям по обем документ. На практика основните изследвания са представени почти изцяло, както са дадени в дисертацията, като са ограничени сведенията основно от Глава 1. По тази причина авторефератът почти покрива текста от дисертацията, което обаче е предпоставка за получаване на пълна информация за извършените изследвания и получените резултати.

8. Мнения, препоръки и забележки по дисертационния труд

Бях рецензент на вътрешната защита на дисертанта инж. Дочо Димитров и посочих определени забележки и препоръки. Основната част от тях са отчетени в последния вариант на дисертацията. В т. 3 посочих някои препоръки, които биха могли да се вземат предвид при едни следващи изследвания на докторанта.

Бих си позволил да отправя някои по-обща забележки:

– Прекалено голяма по обем е Глава 1 (малко повече от 50 страници), като в нея са дадени сведения, които по нататък не се използват, а имат по-скоро информативен характер.

– При изследване на дебитната характеристика в Глава 2 (може би и по-нататък), параметрите на съгстения въздух са приведени към условията на входа. Считаю, че би било по-правилно те да се привеждат към т.н. „стандартни условия“ – температура 20 °С, абсолютно налягане $p=101325$ Pa и относителна влажност 50%.

– Добре е във формулите, в които са дадени числени стойности на определени коефициенти (напр. зависимост 3.50) да се посочи как се получават те, както и в какви дименсии трябва да се заместват останалите величини (още повече, че в списъка на използваните величини, дадени в началото на дисертацията, са без посочени размерности).

Направените забележки и препоръки 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 математични модели, като на тяхна база са проведени редица симулационни изследвания. Разработени са подходящи експериментални стендове и са верифицирани предложените математични модели. Безспорен принос са получените множество експериментални резултати. Всичко това показва, че напълно са изпълнени формалните изискванията към една дисертация за ОНС Доктор в областта на машинното инженерство – теоретични изследвания чрез съставяне на математични (физични) модели и опитна проверка и уточняване на тези модели.

Считам, че представеният дисертационен труд **отговаря** на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България. Постигнатите резултати ми дават основание **да предложи** да бъде придобита образователната и научна степен „Доктор”

от маг. инж. ДОЧО СВЕТЛОЗАРОВ ДИМИТРОВ

**в област на висше образование – 5. Технически науки,
професионално направление – 5.1. Машинно инженерство,**

29.05.2026 г.
гр. Русе

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