دانشکده آموزشهای الکترونیکی

پایان نامه ی کارشناسی ارشد در رشته ی مهندسی

ابزار دقیق و اتوماسیون صنایع نفت

عنوان پایان نامه

شبیه سازی و کنترل پدیده سرج در کمپرسورهای سانتریفیوژ

به کوشش

محمد زاور

استاد راهنما :

دکتر محمد حسین شفیعی

شهریور ماه ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحیم

به نام خدا

اظهارنامه

اینجانب محمد زاور(۸۸۸۴۵۷) دانشجوی رشته اتوماسیون و ابزار دقیق در صنعت نفت، دانشکده آموزشهای الکترونیکی دانشگاه شیراز اظهار می کنم که این پایان نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته ام.همچنین اظهار می کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه ام تکراری نیست و تعهد می نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: محمد زاور

تاریخ و امضا: ۱۳۹۱/۸/۸

به نام خدا

شبیه سازی و کنترل پدیده سرج در کمپرسورهای سانتریفیوژ

به کوشش

محمد زاور

پایان نامه
ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه شیراز به عنوان بخشی
از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی:

مهندسی ابزار دقیق و اتوماسیون صنایع نفت

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی کمیته ی پایان نامه، با درجه ی : عالی

دکتر محمد حسین شفیعی، استادیار بخش کنترل، دانشگاه صنعتی شیراز(رئیس کمیته).....

دکتر علیرضا روستا، استادیار بخش کنترل، دانشگاه صنعتی شیراز .....

دکتر امید ابوعلی، دانشیار بخش مهندسی حرارت و سیالات .....

شهریورماه ۱۳۹۱

تقدیم به:

پدر و مادرم

به خاک پاک میهنم

و به جویندگان راه دانش

سپاسگزاری

اکنون که این پایان نامه به پایان رسیده است برخود واجب می دانم از زحمات بی شائبه و برادرانه استاد گرامی جناب آقای دکتر شفیعی سپاسگزاری نموده و به نقش موثر ایشان در هدایت این پایان نامه معترفم. همچنین راهنماییها و اندرزهای حکیمانه و مشفقانه اساتید گرانقدر جناب آقای دکتر ابوعلی و جناب آقای دکتر روستا در این امر، شایسته تقدیر بوده و موجب مراتب امتنان بنده گردیده است.در پایان نیز از آقای مهندس محمد علیرضایی که مرا در تنظیم این مجموعه یاری کردند،کمال تشکر را دارم.

چکیده

شبیه سازی و کنترل پدیده سرج در کمپرسورهای سانتریفیوژ

به کوشش

محمد زاور

کمپرسورها دستگاههای دواری هستند که به منظور افزایش فشار در موتورهای توربو جت، توربین های گازی، توربور شارژها، انتقال گازها و دیگر موارد کاربرد دارند. محدوده کاری کمپرسورهای سانتریفیوژ توسط پدیده مخرب و ناپایداری به نام سرج محدود می شود. سرج باعث نوساناتی ناخواسته در دبی کمپرسور می شود که موجب آسیب رساندن به آن می شود. عمده ترین آسیبها شامل شکستن پره ها (در توربین های گازی) ، بازگشت دبی به ورودی کمپرسور، بالا رفتن دمای داخلی کمپرسور و لرزش در بدنه آن می باشد. این پایان نامه کاربرد کنترل غیرخطی بر مبنای قوانین لیاپانوف برای کنترل پدیده ناپایدار سرج در کمپرسورهای سانتریفیوژ با سرعت ثابت را ارائه می دهد . مدل استفاده شده در این پایان نامه، مدل معروف مور-گریتزر می باشد که پدیده ناپایدار سرج را توسط کنترل کننده های طراحی شده بر اساس معیار لیاپانوف و شبکه عصبی کنترل می کند. سیستم کمپرسور شامل کنترل ولوی به نام Close Coupled Valve می باشد که در خروجی کمپرسور و ورودی مخزن هوای فشرده می باشد . استفاده از یک کنترل کننده موجب سهولت در طراحی و پیاده سازی و عیب یابی سیستم می شود.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱ کمپرسور و انواع آن ۱

۱-۲ کمپرسورهای جابجایی مثبت یا جریان منقطع ۲

۱-۳ کمپرسورهای دینامیکی یا جریان پیوسته ۳

۱-۴ تفاوت کمپرسورهای سانتریفیوژ و رفت و برگشتی ۶

۱-۵ اجزای تشکیل دهنده کمپرسورهای سانتریفیوژ..... ۷

۱-۶ منحنی عملکرد کمپرسور سانتریفیوژ ۱۲

۱-۷ استال دورانی ۱۳

۱-۸ سرج ۱۳

۱-۹ سیکل سرج ۱۴

۱-۱۰ تراکم گاز طبیعی ۱۶

۱-۱۱ معادله هد پلی تروپیک ۱۷

۱-۱۲ مشخصه های سرج ۱۸

۱-۱۳ نتایج سرج ۱۹

۱-۱۴ اهمیت سیستمهای کنترل سرج ۲۰
۱-۱۵ روشهای مقابله با سرج ۲۰

فصل دوم: مدل سازی سرج و تئوری کنترل غیر خطی

۲-۱ مدل سازی فرایندها ۲۹
۲-۲ اصول مدلسازی ۳۰
۲-۳ مدل سازی کمپرسور ۳۱
۲-۴ مدل مور-گریتزر با استفاده از Close Coupled Valve ۳۲
۲-۵تئوری سیستمهای غیرخطی ۳۶
۲-۶ سیکل حدی ۳۷
۲-۷پایداری ۳۸
۲-۸ آنالیز سیستمهای غیرخطی..... ۳۸
۲-۹ آنالیز صفحه فاز ۳۹
۲- ۱۰ تئوری لیاپانوف ۳۹
۲-۱۱ توابع توصیف ۴۰
۲- ۱۲ نقاط تعادل ۴۱
۲-۱۳ پیدا کردن نقطه تعادل و بررسی پایداری آن ۴۱
۲- ۱۴ نتایج شبیه سازی سرج ۴۴
۲-۱۵ تغییر متغیر مدل و انتقال منحنی مشخصه به نقطه Φ_0, ψ_0 ..... ۴۶
۲-۱۶ معادلات مور-گریتزر پس از اعمال سیگنال کنترل u ۴۸

فصل سوم : مروری بر کارهای انجام شده در زمینه کنترل سرج در کمپرسور سانتریفیوژ

۳-۱ مروری برکارهای گذشته..... ۵۱

فصل چهارم: طراحی کنترل کننده به روش لیاپانوف

۴-۱ طراحی کنترل کننده شماره ۱..... ۵۹
۴-۲ نتایج شبیه سازی کنترل کننده شماره ۱ ..... ۶۲
۴-۳ بررسی پایداری کمپرسور با کنترل کننده طراحی شده توسط معیار صفحه فاز..... ۶۶
۴-۴ طراحی کنترل کننده شماره۲ ..... ۶۷
۴-۵ نتایج شبیه سازی کنترل کننده شماره ۲ ..... ۶۹
۴-۶ بررسی پایداری کمپرسور با کنترل کننده طراحی شده توسط معیار صفحه فاز ۷۳
۴-۷ طراحی کنترل کننده شماره۳ ..... ۷۳
۴-۸ نتایج شبیه سازی کنترل کننده شماره ۳ .....۷۶
۴-۹ بررسی پایداری کمپرسور با کنترل کننده طراحی شده توسط معیار صفحه فاز ۷۹

فصل پنجم: طراحی کنترل کننده به روش شبکه عصبی

۵-۱ تاریخچه شبکه عصبی..... ۸۲
۵-۲ علت استفاده از شبکه عصبی ۸۴
۵-۳ تفاوت شبکه عصبی و کامپیوتر..... ۸۵
۵-۴ تعریف شبکه عصبی ۸۶
۵-۵ تقسیم بندی شبکه عصبی از نظر آموزش ۸۷
۵-۶ کاربرد شبکه های عصبی ۸۸

۵-۷ معایب شبکه های عصبی ۸۹
۵-۸ طراحی کنترل کننده شماره ۴ به کمک شبکه عصبی..... ۸۹
۵-۹ نتایج شبیه سازی کنترل کننده ۹۲
فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۶-۱ نتیجه گیری و مقایسه کنترل کننده های ۱و۲و۳و ۴ ..... ۹۸
۶-۲ پیشنهادات ۱۰۰
- منابع ۱۰۱
- چکیده به زبان انگلیسی ۱۰۶

فهرست جدولها

عنوان و شماره **صفحه**

جدول عددی شماره ۲-۱ ..... ۴۲

جدول عددی شماره ۴-۱ ..... ۶۱

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل۱-۱نمودار انواع کمپرسورها ۲

شکل۱-۲روتور کمپرسور محوری ۴

شکل ۱-۳ نمای یک کمپرسور سانتریفیوژ چند مرحله ای..... ۵

شکل ۱-۴شماتیک کمپرسور سانتریفیوژ..... ۶

شکل۱-۵ اجزای تشکیل دهنده یک کمپرسور سانتربفیوژ چند مرحله ای..... ۷

شکل۱-۶ محور چرخنده یک کمپرسور سانتریفیوژ..... ۸

شکل۱-۷ پروانه باز یک کمپرسور سانتریفیوژ..... ۸

شکل۱-۸ پروانه نیمه بسته یک کمپرسور سانتریفیوژ..... ۹

شکل۱-۹ پروانه بسته یک کمپرسور سانتریفیوژ..... ۹

شکل۱-۱۰ ساختار یک پروانه و دیافراگم ۱۰

شکل ۱-۱۱ یاتاقان محوری ۱۱

شکل ۱-۱۲ یاتاقان شعاعی ۱۱

شکل۱-۱۳ منحنی عملکرد یک کمپرسور ۱۲

شکل۱-۱۴ سیکل سرج روی منحنی مشخصه کمپرسور ۱۴

شکل ۱-۱۵ آسیب به پره های کمپرسور بر اثر سرج ۱۵

شکل۱-۱۶ دبی خروجی کمپرسور در حالت سرج ۱۸

شکل۱-۱۷ فشار خروجی کمپرسور در حالت سرج ۱۹

شکل۱-۱۸ دمای داخلی کمپرسور در حالت سرج ۱۹
شکل ۱-۱۹ کنترل سرج توسط کنترل سرعت در کمپرسور سانتریفیوژ ۲۲
شکل ۱-۲۰ مبدل تغییرات فشار به سیگنال الکتریکی ۲۳
شکل۱-۲۱ منحنی مشخصه کمپرسور..... ۲۵
شکل۱-۲۲روش صنعتی رایج کنترل سرج ۲۷
شکل۲-۱ شماتیک کمپرسور..... ۳۳
شکل۲-۲ شماتیک کمپرسور همراه با Close Coupled Valve ۳۳
شکل ۲-۳ منحنی مشخصه کمپرسور ۳۵
شکل ۲-۴ نمودار صفحه فاز مدل مور-گریتزر ۴۵
شکل ۲-۵ ضریب دبی جرمی کمپرسور در حالت سرج و بدون حضور کنترل کننده
.....۴۵
شکل ۲-۶ ضریب فشار کمپرسور در حالت سرج و بدون حضور کنترل کننده
..... ۴۵
شکل۲-۷ سیکل سرج ۴۶
شکل۳-۱ شمای کمپرسور و مخزن نگه دارنده هوای فشرده ۵۳
شکل ۳-۲ شمای طراحی کنترل کننده فازی ۵۳
شکل ۳-۳ شماتیک کمپرسور همراه با دو کنترل ولو ۵۴
شکل ۳-۴ طراحی کنترل کننده مربوط به Close-coupled valve ۵۵
شکل ۳-۵ طراحی کنترل کننده مروبط به کنترل ولو تراتل ۵۵
شکل۴-۱ تغییرات ضریب دبی جرمی(Φ) در حضور کنترل کننده شماره ۱..... ۶۳
شکل۴-۲ تغییرات ضریب فشار(Ψ) در حضور کنترل کننده شماره۱ ..... ۶۳
شکل۴-۳ تغییرات ضریب دبی جرمی(Φ) در حضور کنترل کننده شماره۱ ..... ۶۴
شکل۴-۴ تغییرات ضریب فشار(Ψ) در حضور کنترل کننده شماره ۱ ..... ۶۵
شکل۴-۵ تغییرات ضریب دبی جرمی(Φ) در حضور کنترل کننده شماره ۱ ..... ۶۵

شکل۴-۶ تغییرات ضریب فشار(Ψ) در حضور کنترل کننده شماره ۱ ..... ۶۶
شکل۴-۷ نمودار صفحه فاز کمپرسور در حضور کنترل کننده شماره ۱..... ۶۷
شکل۴-۸ تغییرات ضریب دبی جرمی(Φ) در حضور کنترل کننده شماره ۲ ..... ۷۰
شکل۴-۹ تغییرات ضریب فشار(Ψ) در حضور کنترل کننده شماره ۲ ..... ۷۰
شکل۴-۱۰ تغییرات ضریب دبی جرمی(Φ) در حضور کنترل کننده شماره ۲ ..... ۷۱
شکل۴-۱۱تغییرات ضریب فشار(Ψ) در حضور کنترل کننده شماره ۲ ..... ۷۱
شکل۴-۱۲ تغییرات ضریب دبی جرمی(Φ) در حضور کنترل کننده شماره ۲ ..... ۷۲
شکل۴-۱۳تغییرات ضریب فشار(Ψ) در حضور کنترل کننده شماره ۲ ..... ۷۲
شکل۴-۱۴ نمودار صفحه فاز کمپرسور در حضور کنترل کننده شماره ۲ ..... ۷۳
شکل۴-۱۵ تغییرات ضریب دبی جرمی(Φ) در حضور کنترل کننده شماره ۳ ..... ۷۶
شکل۴-۱۶تغییرات ضریب فشار(Ψ) در حضور کنترل کننده شماره ۳ ..... ۷۷
شکل۴-۱۷ تغییرات ضریب دبی جرمی(Φ) در حضور کنترل کننده شماره ۳ ..... ۷۷
شکل۴-۱۸تغییرات ضریب فشار(Ψ) در حضور کنترل کننده شماره ۳ ..... ۷۸
شکل۴-۱۹ تغییرات ضریب دبی جرمی(Φ) در حضور کنترل کننده شماره ۳ ..... ۷۸
شکل۴-۲۰تغییرات ضریب فشار(Ψ) در حضور کنترل کننده شماره ۳ ..... ۷۹
شکل۴-۲۱ نمودار صفحه فاز کمپرسور در حضور کنترل کننده شماره ۳ ..... ۸۰
شکل۵-۱ شبکه عصبی سه لایه طراحی شده ۹۰
شکل۵-۲ لایه ورودی شبکه عصبی..... ۹۰
شکل۵-۳ نورونهای لایه ورودی شبکه عصبی.....۹۱
شکل۵-۴ لایه خروجی شبکه عصبی ۹۱
شکل۵-۵ تغییرات ضریب دبی جرمی(Φ) در حضور کنترل کننده عصبی ۹۲
شکل۵-۶ تغییرات ضریب فشار(Ψ) در حضور کنترل کننده عصبی ۹۳
شکل۵-۷ تغییرات ضریب دبی جرمی(Φ) در حضور کنترل کننده عصبی ۹۴
شکل۵-۸ تغییرات ضریب فشار(Ψ) در حضور کنترل کننده عصبی ۹۴

شکل۵-۹ تغییرات ضریب دبی جرمی(Φ) در حضور کنترل کننده عصبی ۹۵
شکل۵-۱۰ تغییرات ضریب فشار(Ψ) در حضور کنترل کننده عصبی ۹۶
شکل ۶-۱ تغییرات ضریب دبی جرمی و ضریب فشار کنترل کننده شماره ۱ ..... ۹۸
شکل ۶-۲ تغییرات ضریب دبی جرمی و ضریب فشار کنترل کننده شماره ۲ ..... ۹۸
شکل ۶-۳ تغییرات ضریب دبی جرمی و ضریب فشار کنترل کننده شماره ۳ ..... ۹۸
شکل ۶-۴ تغییرات ضریب دبی جرمی و ضریب فشار کنترل کننده شماره ۴ ..... ۹۸

فصل اول

مقدمه

۱-۱ کمپرسور و انواع آن

کمپرسور به دستگاهی اطلاق می شود که برای فشرده کردن،افزایش فشار و انتقال گازها مورد استفاده قرار می گیرد.البته این افزایش فشار می تواند بنا به دلایل مختلفی صورت پذیرد.به عنوان مثال، در خطوط لوله انتقال گاز، تأمین فشار مخازن ذخیره تحت فشار، تزریق گاز به میدان های نفتی، سیستم های تبرید و فشرده سازی به منظور غلبه بر تلفات فشاری که به علت انبساط گاز، اصطکاک مسیر، تغییر در ارتفاع یا تغییر در دما و همچنین تغییر در میزان دبی بین نقاط تولید و مصرف گاز اتفاق می افتد، صورت می پذیرد.از کمپرسورها در موتورهای جت، توربین های گازی،سوپرشارژرها،توربوشارژرها در موتورهای احتراق داخلی وخطوط انتقال گاز و موارد دیگر استفاده می شود.

کمپرسورها از لحاظ چگونگی فرآیند تراکم، به دو دسته تقسیم می شوند:

۱-کمپرسورهای جابجایی مثبت یا جریان منقطع[۱]

۲-کمپرسورهای دینامیکی یا جریان پیوسته[۲]

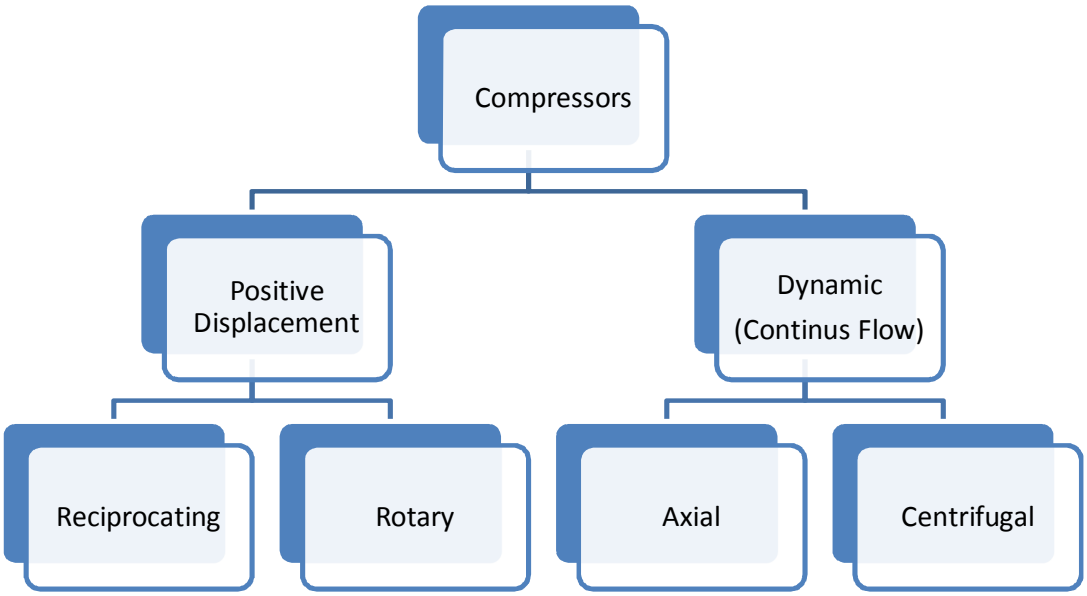
هر یک از دسته های فوق،تنوع زیادی در شکل و ساختار مکانیکی داشته ولی از لحاظ رفتاری دارای ویژگیهای نسبتاً یکسانی هستند.

---

۱ Positive Displacement

۲ Dynamic

شکل ۱-۱ طبقه بندی کمپرسورها را نشان می دهد.



شکل۱-۱نمودار انواع کمپرسورها

۱-۲ کمپرسورهای جابجایی مثبت یا جریان منقطع

در کمپرسورهای جابجایی مثبت، اساس افزایش فشار،کاهش حجم است.یعنی همواره مقدار معینی از گاز بین دو قطعه به تله انداخته شده و با کاهش حجم محفظه،فشار گاز به تله افتاده شده افزایش یافته و در نهایت به نقطه خروجی کمپرسور ارسال می شود.این کمپرسورها به دو دسته رفت و برگشتی و دورانی تقسیم می شوند.