۱۳۷۸ /۷/ ۱۲

مرکز اطلاعات علمی ایران
قابل امانت

دانشگاه علم وصنعت ایران

دانشکده مهندسی مکانیک

تحلیل عددی ناپایداری آکوستیک در موتور موشکهای سوخت جامد

تهیه کننده : ناصر علیزاده

3925/۲

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی هوا فضا

استاد راهنما : دکتر سیدمصطفی حسینعلی‌پور

استاد مشاور : دکتر محمد نصیری

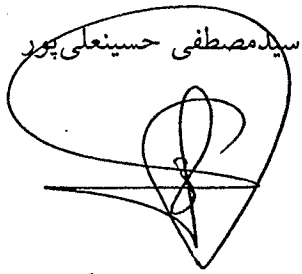
بهمن ۱۳۷۷

بسم الله الرحمن الرحيم

کمیته ارزیابی پایان‌نامه :

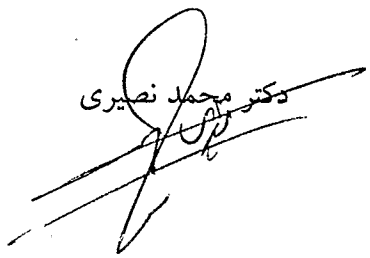
استاد راهنمای پروژه (دانشکده مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران) :

دکتر سیدمصطفی حسینعلی‌پور



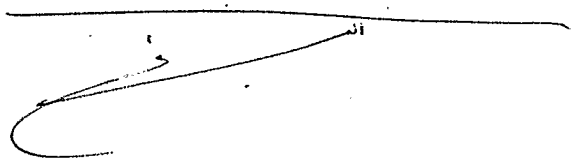
استاد مشاور پروژه (دانشکده مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران) :

دکتر محمد نصیری



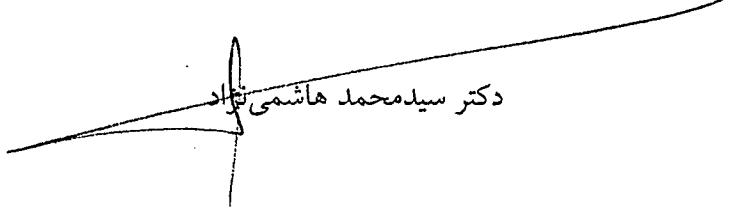
استاد ممتحن خارجی (دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف) :

دکتر اکبر غفوریان



استاد ممتحن داخلی (دانشکده مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران) :

دکتر سیدمحمد هاشمی‌نژاد



اعتبار این پایان‌نامه به تائید اعضای محترم کمیتهٔ ارزیابی فوق رسیده است.

تقدیم به :

پدر و مادر عزیزم این دو گوهر گرانبهای تمام زندگی.

تقدیم به :

همسر گرانقدر و با وفایم که در تمام مراحل تدوین پایان‌نامه حاضر لحظه‌ای محبت خود را از بنده دریغ نکردند.

تقدیم به :

تمام کسانی که در راه استقلال ایران اسلامی خالصانه و بی‌ادعا تلاش می‌کنند، همان شیوه‌ای که شهدا و امام شهدا(ره) تا ابد الگوی آن هستند.

چکیده :

یکی از پدیده‌های نامطلوب در موتورهای سوخت جامد آنست که این موتورها در حین کار ناگهان دچار نوسان در فشار عملکردی خود می‌شوند. این پدیده مبین یک جفت‌شدگی بین پدیدهٔ احتراق و آکوستیک محفظهٔ احتراق است. یکی از ابزار لازم برای شناخت مکانیزم جفت‌شدگی بین احتراق و آکوستیک محفظهٔ احتراق، شناسایی فرکانسهای تشدید محفظهٔ احتراق می‌باشد.

در کار حاضر سعی شده است فرکانسهای تشدید یک محفظهٔ احتراق با حل عددی معادلات حاکم مورد بررسی قرار گیرد. در فصل اول ابتدا یک معرفی و تاریخچه از ناپایداری احتراق بیان می‌گردد، فصل دوم ضمن معرفی عوامل موثر در ناپایداری احتراق به بیان جایگاه کار حاضر از دیدگاه کلان در مجموعهٔ فعالیتهای ناپایداری احتراق می‌پردازد و با ارائهٔ یک الگوریتم روشی را جهت جلوگیری از ناپایداری احتراق پیشنهاد می‌کند. فصل سوم معادلات حاکم را معرفی و به کمک تئوری اغتشاشات، معادلات اغتشاشی را که نهایتا مورد حل قرار می‌گیرد استخراج می‌کند. در فصل چهارم با معرفی روش عددی مناسب برای حل این معادلات، به حل معادلات با فرض عدم وجود جریان در موتور(آکوستیک کلاسیک) می‌پردازد، برای چند مورد حل عددی انجام گردید و درمواردی که جواب تحلیلی موجود است حل عددی با تقریب مناسبی جواب لازم را بدست می‌دهد. در انتهای فصل چهارم ابزار لازم برای شناسایی فرکانسهای تشدید یک محفظهٔ احتراق بصورت تقارن محوری در حالت بدون جریان میانی ایجاد شده است. از آنجا که در یک موتور واقعی همواره میدان جریان و عوامل تاثیر گذارندهٔ آن بر فرکانسهای تشدید وجود است، در فصل پنجم به بررسی اثر این عوامل در جابجایی فرکانسهای تشدید محفظه احتراق پرداخته می‌شود و پارامترهای تاثیر گذار مورد شناسایی قرار می‌گیرد

تشکر و قدردانی :

خداوند متعال را سپاسگزارم که به این بنده توفیق انجام کار حاضر را عطا فرمود، برخود وظیفه دیدم تا از همهٔ عوامل و کسانی که به نوعی مرا در انجام این پایان‌نامه یاری نموده‌اند تشکر و قدردانی کنم، ابتدا باید از آقای دکتر حسینعلی‌پور که در طول یکسال و اندی راهنمایی این پایان‌نامه را بر عهده داشته‌اند و بنده را به شاگردی خود پذیرفتند تشکر و قدردانی کنم. همچنین لازمست از آقای دکتر نصیری که همواره مشوق بنده در ادامه کار بر روی بحث حاضر بوده‌اند و با تهیهٔ منابع لازم اینجانب را یاری کرده‌اند سپاسگزار باشم. از تمام دوستان در معاونت فن‌آوری و تحقیقات صنایع شهید باقری بویژه آقای دکتر کریم مظاهری که راهنمایی‌های ارزنده‌ایی در طول کار برای اینجانب داشته‌اند نهایت تشکر را دارم و از خداوند متعال توفیق هرچه بیشتر این یاران صمیمی را خواستارم. در انتها لازمست از کمیتهٔ داوری پایان‌نامه که قبول زحمت فرمودند قدردانی شود.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

۱) فصل اول: مقدمه و تاریخچه ۱

۱-۱ معرفی ناپایداری احتراق ۲

۱-۲ تاریخچه ناپایداری احتراق ٤

۱-۳ تحقیقات اخیر در زمینهٔ ناپایداری احتراق ۷

۲) فصل دوم: عوامل موثر بر ناپایداری احتراق ۹

۲-۱ عوامل موثر ۱۰

۲-۲ ارائهٔ الگوریتم جهت کاهش ریسک ۱۱

۳) فصل سوم: معادلات حاکم و مدلهای تئوری

مقدمه ۱٤

۳-۱ معادلات حاکم و مدلسازی میدان جریان داخل موتور ۱۵

۳-۱-۱ استخراج معادلهٔ حاکم بدون جریان میانی ۱۹

۳-۱-۲ استخراج معادلهٔ حاکم با جریان میانی ۱۹

٤) فصل چهارم: حل معادلهٔ حاکم(بدون اثرات میدان جریان)

مقدمه ۲٤

٤-۱ حل تحلیلی معادلهٔ موج ۲٤

٤-۲ حل عددی معادلهٔ موج ۲۹

٤-۲-۱ حل عددی یک بعدی ۳۰

٤-۲-۱-۱ بحث و نتیجه‌گیری از حل یک بعدی ۳۲

٤-۲-۱-۲ تحریک برای دریافت فرکانسها ۳۲

٤-۲-۲ حل عددی دو بعدی(کارتزین) ۳۳

٤-۲-۳ حل عددی تقارن محوری ۳٤

٤-۲-٤ شبکه‌بندی میدان حل ۳٦

۵-۲-٤ حل عددی تقارن محوری در مختصات منحنی‌الخط(ξ,η) ۳۷
۱-۵-۲-٤ بحث و نتیجه‌گیری از حل عددی تقارن محوری ۳۹

۵) فصل پنجم: حل معادلهٔ حاکم(با اثرات میدان جریان)

مقدمه ٤۱
۱-۵ توسعهٔ بسط‌های مجانبی ٤۲
۲-۵ خطی سازی معادلات ٤۳
۳-۵ استخراج معادلات لازم برای اعمال میدان جریان ٤۵
۱-۳-۵ محاسبات مرتبهٔ صفر ٤۷
۲-۳-۵ محاسبات مرتبهٔ یک ٤۷
۳-۳-۵ محاسبات مرتبهٔ دو ٤۸
٤-۵ کاربرد معادلات استخراج شده ٤۹
۵-۵ بحث و نتیجه‌گیری ۵۳

٦) نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱-٦ ارائه نتایج ۵۵
۲-٦ پیشنهاد برای ادامهٔ کار ۵۵
۳-٦ جداول و نمودارها ۵٦

۷) ضمیمه‌ها .....

۷-۱ ضمیمه الف: استخراج معادلات مرتبهٔ اول و دوم اغتشاشی ۷٤
الف-۱ استخراج معادلات مرتبهٔ اول و دوم اغتشاشی ۷۵
الف-۲ استخراج معادلهٔ موج در حالت بدون و با جریان ۷۹
۷-۲ ضمیمه ب: استخراج معادلات حاکم بر میدان جریان داخل گرین استوانه ۸۱
ب-۱ در محفظهٔ احتراق تولید ورتیسیتی نباشد ۸۵
ب-۲ در محفظهٔ احتراق تولید ورتیسیتی نباشد ۸٦
۷-۳ ضمیمه ج: انواع شرایط اولیه و آنالیز مودال(FFT) ۹٤

۸) مراجع ۹۸

فهرست اشکال

عنوان صفحه

۱-۱) نمای داخلی و اجزاء یک موتور سوخت جامد ۲
۱-۲) موازنهٔ بین نرخ تولید و تخلیهٔ گاز و برقراری حالت پایدار ۳
۱-۳) رشد اغتشاش در موتور و آغاز حرکت نوسانی ٤
۲-۱) الگوریتم ارائه شده جهت کاهش ریسک ۱۲
۳-۱) نمای شماتیک رژیمهای مختلف جریان در موتور سوخت جامد ۲۲
٤-۱) شبکه‌بندی میدان حل یک‌بعدی ۳۰
٤-۲) شبکه‌بندی میدان حل دو بعدی ۳۳
٤-۳) شبکه‌بندی میدان حل تقارن محوری ۳۵
٤-٤) مقایسهٔ حل عددی و دقیق یک‌بعدی با شرایط اولیهٔ مثلثی ٤۲
٤-٥) مقایسهٔ حل عددی و دقیق یک‌بعدی برای مود اول هارمونیک ٤۲
٤-٦) حل عددی مود نهم هارمونیک برای موج ایستا ٤۳
٤-۷) شبکه‌بندی جبری میدان حل برای مستطیل و استوانه ٤۳
٤-۸) شبکه‌بندی دیفرانسیلی برای یک موتور سوخت مایع ٤٤
٤-۹) شبکه‌بندی دیفرانسیلی(پواسون) برای یک موتور سوخت جامد ٤٤
٤-۱۰) منحنی فشار زمان برای مود طولی در یک مستطیل ٤٥
٤-۱۱) آنالیز مودال در مود طولی برای یک مستطیل ٤٥
٤-۱۲) منحنی فشار زمان برای مود عرضی در یک مستطیل ٤٦
٤-۱۳) آنالیز مودال در مود عرضی برای یک مستطیل ٤٦
٤-۱٤) منحنی فشار زمان برای مود مرکب در یک مستطیل ٤۷
٤-۱٥) آنالیز مودال در مود مرکب برای یک مستطیل ٤۷

٤-١٦) منحنی فشار زمان برای مود طولی در یک استوانه ٤٨
٤-١٧) آنالیز مودال در مود طولی برای یک استوانه ٤٨
٤-١٨) منحنی فشار زمان برای مود شعاعی در یک استوانه ٤٩
٤-١٩) آنالیز مودال در مود شعاعی برای یک استوانه ٤٩
٤-٢٠) منحنی فشار زمان برای مود مرکب در یک استوانه ٥٠
٤-٢١) آنالیز مودال در مود مرکب برای یک استوانه ٥٠
٤-٢٢) منحنی فشار زمان برای مود طولی موتور مایع شکل(٤-٨) ٥١
٤-٢٣) آنالیز مودال در مود طولی برای موتور مایع شکل(٤-٨) ٥١
٤-٢٤) منحنی فشار زمان برای مود شعاعی موتور مایع شکل(٤-٨) ٥٢
٤-٢٥) آنالیز مودال در مود شعاعی برای موتور مایع شکل(٤-٨) ٥٢
٥-١) هندسهٔ گرین درونسوز استوانه‌ای و سیستم مختصات لازم ٦٢
٥-٢) جابجایی فرکانس در اثر وجود میدان جریان در موتور فرضی ٦٩
٥-٣) اعوجاج در شکل مود اول در اثر میدان جریان ٦٩
٥-٤) اعوجاج در شکل مود دوم در اثر میدان جریان ٧٠
٥-٥) اثرات قسمت حقیقی تابع گذردهی بر شکل مود اول ٧٠
٥-٦) اثرات تراکم‌پذیری بر جابجایی فرکانس در مود اول طولی ٧١
٥-٧) اثرات تراکم‌پذیری بر جابجایی فرکانس در مود دوم طولی ٧١
٥-٨) اثرات تراکم‌پذیری بر جابجایی فرکانس در مود سوم طولی ٧٢
٥-٩) اثر قسمت موهومی تابع گذردهی بر جابجایی فرکانس(تراکم‌پذیری) ٧٢
٥-١٠) مقایسهٔ اثر قسمت موهومی و حقیقی تابع گذردهی بر جابجایی فرکانس ٧٣
ب-١) خطوط جریان در موتور فرضی برای شرایط لغزشی ٩٠
ب-٢) خطوط هم‌فشار در موتور فرضی برای شرایط لغزشی ٩٠
ب-٣) خطوط جریان در موتور فرضی برای شرایط غیرلغزشی ٩١
ب-٤) خطوط هم‌فشار در موتور فرضی برای شرایط غیرلغزشی ٩١
ب-٥) توزیع مولفهٔ طولی سرعت در موتور فرضی با شرایط غیرلغزشی ٩٢
ب-٦) توزیع مولفهٔ عرضی سرعت در موتور فرضی با شرایط غیرلغزشی ٩٢
ب-٧) اثر ماخ سوزش روی توزیع فشار در طول یک موتور فرضی ٩٣

فهرست جداول

عنوان صفحه

۱-۳) پارامترهای بی‌بعد کننده معادلهٔ(N-S) ۱۵

۱-٤) مودهای فرکانسی یک اتاقک مکعبی ۲۸

۲-٤) مودهای فرکانسی یک استوانه ۲۸

۳-٤) مقادیر α_{mn} برای یک محفظهٔ استوانه‌ای ٤۱

٤-٤) ضرایب معادلهٔ گسسته یک‌بعدی ۳۱

٥-٤) ضرایب معادلهٔ موج دو بعدی ۳٤

٦-٤) مقایسهٔ فرکانسهای عددی و دقیق برای صفحهٔ مستطیلی ٤۱

۷-٤) ضرایب معادلهٔ موج تقارن محوری ۳٦

۸-٤) مقایسهٔ فرکانسهای عددی و دقیق برای استوانه ٤۱

۹-٤) ضرایب معادلهٔ موج تقارن محوری(ξ,η) ۳۸

ب-۱) حل تحلیلی میدان جریان با شرط لغزشی ۸٥

ب-۲) حل تحلیلی میدان جریان با شرط غیرلغزشی ۸۸

ج-۱) انواع شرایط اولیه و تبدیل فوریهٔ آنها ۹٦

فهرست علائم

علائم انگلیسی

A ..... تابع گذردهی

A_p ..... سطح پورت

A_t ..... سطح گلوگاه

a ..... سرعت صوت

D ..... قطر موتور

E ..... تعریف شده در معادلهٔ(۳۰-۵)

F ..... نیروهای بدنی

f ..... فرکانس

J ..... ژاکوبین

k..... عدد موج

L ..... طول مشخصه

M ..... عدد ماخ ، ثابت بیانگر دامنهٔ موج

N ..... ثابت بیانگر دامنهٔ موج

n ..... مختصه نرمال در دستگاه مختصات

P ..... فشار

Pr ..... عدد پرانتل

Re ..... عدد رینولدز

R ..... شعاع داخلی گرین استوانه

r ..... شعاع

T ..... دما

t ..... زمان

U ..... سرعت

V..... حجم المان

v..... سرعت

x ..... مختصهٔ طولی در سیستم استوانه‌ای

علائم یونانی

α ..... نرخ رشد نوسانات فشار

ε ..... دامنهٔ نرمال شدهٔ فشار

μ ..... ویسکوزیته جریان

ρ ..... دانسیته

γ ..... ظرفیت حرارتی ویژه

ϕ ..... عبارتهای چشمه

ν ..... μ / ρ

ζ ..... ورتیسیتی

ψ ..... تابع جریان

Δ ..... تغییرات

ξ ..... مختصه طولی در دستگاه منحنی‌الخط

η ..... مختصه عرضی در دستگاه منحنی‌الخط

Ω ..... فرکانس بدون بعد

زیر نویس‌ها

b ..... مربوط به سوزش روی سطح

E ..... نقطهٔ شرقی حجم معیار

f ..... خاصیت فاز مایع

g ..... خاصیت فاز گازی

l ..... مود طولی برای مختصات کارتزین

m ..... مود عرضی برای مختصات کارتزین ، مود شعاعی برای مختصات استوانه‌ای

N ..... نقطهٔ شمالی حجم معیار

n ..... مود عمودی برای مختصات کارتزین ، مود مماسی برای مختصات استوانه‌ای

P ..... نقطهٔ مرکزی حجم معیار

q ..... مود طولی برای مختصات استوانه‌ای

S ..... نقطهٔ جنوبی حجم معیار

W..... نقطهٔ غربی حجم معیار

بالانویس‌ها

* ..... متغیرهای با بعد

-- ..... متغیرهای با بعد سکون

' ..... متغیرهای اغتشاشی

1 ..... متغیرهای اغتشاشی مرتبهٔ اول

۲ ..... متغیرهای اغتشاشی مرتبهٔ دوم

i ..... قسمت موهومی

r..... قسمت حقیقی

~ ..... متغیرهای اغتشاشی

n..... خاصیت نقطه در زمان

10 ..... مربوط به متغیر بدون اثرات ماخ سوزش

11..... مربوط به متغیر با اثرات مرتبهٔ اول ماخ سوزش

12 ..... مربوط به متغیر با اثرات مرتبهٔ دوم ماخ سوزش(اثرات تراکم‌پذیری)

فصل اول

ناپایداری احتراق

- معرفی
- تاریخچه