بسم الله الرحمن الرحیم

۶۲۳۳۱

**دانشگاه تهران**

**دانشکدهٔ فنی**

گروه برق و کامپیوتر

۱۳۸۲ /۷/ ۲۰

موضوع:

# طراحی بهینهٔ سیستمهای کنترل مقاوم چند متغیره به روش ترکیبی QFT و EEAS

نگارش:

**محمد هادیان**

استاد راهنما (۱):

**دکتر علی خاکی صدیق**

استاد راهنما (۲):

**دکتر محمد جواد یزدان پناه**

پایان نامه برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد در رشتهٔ کنترل

٤٩٣٣١

**تیر ماه ۱۳۸۲**

به نام خدا
دانشگاه تهران

**دانشکده فنی**
**گروه آموزشی مهندسی برق و کامپیوتر**

**گواهی دفاع از پایان‌نامه کارشناسی ارشد**

هیات داوران پایان‌نامه کارشناسی ارشد آقای محمد هادیان در رشته مهندسی برق و کامپیوتر گرایش کنترل با عنوان «طراحی بهینه سیستم‌های کنترل مقاوم چندمتغیره به روش ترکیبی QFT و EEAS» را در تاریخ ۸۲/۴/۲۸

| نمره نهایی پایان‌نامه : | به عدد | به حروف |
|---|---|---|
| | ۱۷ | هفده |

و درجه : بسیار خوب ارزیابی نمود.

| ردیف | مشخصات هیات داوران | نام و نام خانوادگی | مرتبه دانشگاهی | دانشگاه یا موسسه | امضاء |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | استاد راهنما<br>استاد راهنمای دوم (حسب مورد) : | دکترعلی خاکی‌صدیق<br>دکترمحمدجواد یزدان‌پناه | استاد<br>دانشیار | خواجه نصیر<br>تهران | |
| ۲ | استاد مشاور : | — | — | — | |
| ۳ | استاد مدعو :(یا استاد مشاور دوم) | دکتر بابک نجاراعرابی | استادیار | تهران | |
| ۴ | استاد مدعو (خارجی) : | دکتر حمیدرضا مؤمنی | دانشیار | تربیت مدرس | |
| ۵ | نماینده کمیته تحصیلات تکمیلی گروه آموزشی : | دکترپرویزجبه‌دارمارالانی | استاد | تهران | |

تذکر : این برگه پس از تکمیل توسط هیات داوران در نخستین صفحه پایان‌نامه درج می‌گردد.

موضوع:

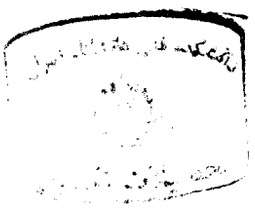
# طراحی بهینهٔ سیستمهای کنترل مقاوم چند متغیره به روش ترکیبی QFT و EEAS

توسط: **محمد هادیان دولت آبادی**

پایان نامه برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد
رشتهٔ مهندسی برق- گرایش کنترل

از این پایان نامه در تاریخ ۱۳۸۲/۴/۲۸ در مقابل هیأت داوران دفاع به عمل آمد و مورد تصویب قرار گرفت.

محل امضاء



سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکدهٔ فنی: دکتر جواد فیض

مدیر گروه آموزشی: دکتر پرویز جبه دار مارالانی

سرپرست تحصیلات تکمیلی گروه: دکتر حمیدرضا جمالی

استاد راهنما (۱): دکتر علی خاکی صدیق

استاد راهنما (۲): دکتر محمد جواد یزدان پناه

عضو هیأت داوران: دکتر حمیدرضا مؤمنی

عضو هیأت داوران: دکتر بابک نجار اعرابی

عضو هیأت داوران: دکتر پرویز جبه دار مارالانی

**تقدیم به:**

کاروانسالار قافلهٔ شهیدان گلگون کفن،

عاشقان سرخپوش مهاجر،

همسر مهربان و فرزند عزیزم که با صبر خود
مرا در این راه یاری نمودند.

## چکیده

کنترل سیستم های نامعین از موضوعات مهم در مهندسی کنترل به شمار می رود. روشهای طراحی سیستم های کنترل برای سیستم های نامعین، نامعلوم یا متغیر با زمان را می توان به دو دستهٔ عمدهٔ کنترل مقاوم و کنترل تطبیقی (کلاسیک یا هوشمند) تقسیم نمود. مزیت عمدهٔ سیستم-های کنترل مقاوم در ساختار ثابت، خطی و سادگی کنترل کنندهٔ مقاوم است. حال آنکه، کنترل-کننده های تطبیقی (کلاسیک یا هوشمند)، کنترل کننده هایی غیرخطی و تغییرپذیر با زمان هستند که پیاده سازی آنها عمدتاً سخت و دشوار است. از طرف دیگر، کنترل کننده های مقاوم از طراحیهای محافظه کارانه بدست آمده و پهنای باند بالا و هزینهٔ کنترلی بزرگ دارند و در مقابل، کنترل کننده-های تطبیقی پهنای باند پائین و هزینهٔ کنترلی کمتری دارند. بدین جهت، تلفیق ایده های کنترل مقاوم و تطبیقی در سالهای اخیر مورد توجه بسیار قرار گرفته است. در این پایان نامه، کنترل کنندهٔ مقاوم QFT با کنترل کنندهٔ تطبیقی خودنوسان EEAS ترکیب شده تا کنترل کننده ای با حداقل هزینه و پهنای باند و ساختاری نسبتاً ساده بدست دهد. از طرفی، به دلیل آنکه تلفیق روش مقاوم QFT و روش تطبیقی EEAS باعث پیچیده تر شدن طراحی می شود، و نیز جهت اجتناب از فرآیند دستوار طراحی کنترل کننده، از روش هوشمند الگوریتم ژنتیک برای طراحی بهینهٔ این کنترل کنندهٔ ترکیبی استفاده شده است.



***کلمات کلیدی***

کنترل مقاوم، کنترل تطبیقی، QFT ، سیستم تطبیقی تحریک خارج ، الگوریتم ژنتیک

**« من لم یشکر المخلوق، لم یشکر الخالق »**

از حضرت حق شاکر و سپاسگزارم که توفیق کسب علم و اخلاق را از محضر *جناب آقای دکتر خاکی صدیق* نصیب من فرموده و ایشان را دلیل راه کسب دانش این حقیر قرار داد، و از باب " *من علّمنی حرفاً فقد صیّرنی عبداً* " بر خود لازم می دانم که از راهنمائی های ارزنده و زحمات بی دریغ ایشان کمال قدردانی و امتنان را داشته باشم. یقیناً نکات قوت این تحقیق، مدیون پیگیری مستمر و دلسوزانهٔ ایشان در کلیهٔ مراحل بررسی مباحث، تدوین مقالات و نیز گزارش حاضر می باشد. همچنین از *جناب آقای دکتر یزدان پناه* که همواره نکات ارزشمندی را در طول انجام پروژه متذکر شده اند، صمیمانه سپاسگزاری می نمایم.

# فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


**فصل اول: مقدمه** ۱

۱-۱ تاریخچه ..... ۱

۱-۲ هدف از تحقیق ..... ۳

۱-۳ ساختار پایان نامه ..... ۴

**فصل دوم: طراحی سیستمهای کنترل مقاوم به روش QFT (SISO و MIMO)** ۶

۲-۱ مقدمه ..... ۶

۲-۲ طراحی کنترل کنندهٔ مقاوم QFT در سیستمهای SISO ..... ۸

۲-۲-۱ تعیین مدلهای مطلوب ..... ۹

۲-۲-۲ تعیین تمپلت فرآیند ..... ۱۲

۲-۲-۳ تعیین کرانهای تابع انتقال حلقهٔ نامی ..... ۱۲

الف) کران ردیابی ..... ۱۳

ب) کران حذف اغتشاش $d_1$ ..... ۱۴

ج) کران حذف اغتشاش $d_2$ ..... ۱۴

د) کران پایداری مقاوم ..... ۱۵

ه) کران مرکب ..... ۱۶

۲-۲-۴ شکل دهی تابع انتقال حلقه نامی ..... ۱۶

۲-۲-۵ طراحی پیش فیلتر F(s) ..... ۱۸

۲-۳ طراحی سیستمهای کنترل مقاوم چند متغیره به روش QFT ..... ۱۹

۲-۳-۱ بیان مسألهٔ کنترل برای سیستم چند متغیره ..... ۱۹

۲-۳-۲ تک حلقه ایهای مؤثر MISO برای سیستم MIMO ..... ۲۲

۲-۳-۳ طراحی باندهای ردیابی و حذف اثر تداخل حلقه ها ..... ۲۴

۲-۳-۴ محدودیتهای ماتریس فرآیند ..... ۲۵

۲-۴ نتایج شبیه سازی برای سیستمهای SISO و MIMO ..... ۲۷

**فصل سوم: سیستمهای تطبیقی خودنوسان** ۳۷

۳-۱ مقدمه ..... ۳۷

۳-۲ مبانی و اصول اولیه ..... ۳۸
۳-۲-۱ سیکل حدی ..... ۳۸
۳-۲-۲ خطی سازی ..... ۳۹
۳-۲-۳ شرایط شبه خطی ..... ۳۹
۳-۲-۴ تابع توصیفی رلهٔ ایده آل ..... ۴۰

۳-۳ سیستم تطبیقی خودنوسان ..... ۴۱
۳-۳-۱ ساختار سیستم SOAS ..... ۴۱
۳-۳-۲ سنتز یک SOAS مقدماتی ..... ۴۳

۳-۴ سیستم تطبیقی تحریک خارج ..... ۴۶
۳-۴-۱ معرفی سیستم EEAS ..... ۴۶
۳-۴-۲ ویژگیهای سیستم EEAS ..... ۴۸
۳-۴-۳ طراحی سیستم EEAS ..... ۵۲
۳-۴-۴ توجیه فرم $X_e$ ..... ۵۵
۳-۴-۵ انتخاب $Z_e$ ..... ۵۶

۳-۵ شبیه سازی EEAS ..... ۵۷

**فصل چهارم: بهینه سازی به روش الگوریتم ژنتیک** ۶۲

۴-۱ مقدمه ..... ۶۲

۴-۲ الگوریتم ژنتیک ..... ۶۳
۴-۲-۱ تولید جمعیت اولیه ..... ۶۳
۴-۲-۲ گزینش ..... ۶۴
۴-۲-۳ عملگرهای ترکیب مجدد ..... ۶۴

۴-۳ نکاتی در بارهٔ الگوریتم ژنتیک ..... ۶۵

۴-۴ خلاصه ای از ویژگیهای الگوریتم ژنتیک ..... ۶۷

۴-۵ مزایای روش الگوریتم ژنتیک ..... ۶۸

**فصل پنجم: طراحی بهینهٔ سیستمهای کنترل ترکیبی QFT-EEAS با روشهای بهینه-سازی تصادفی** ۶۹

۵-۱ مقدمه ..... ۶۹

۵-۲ طراحی QFT-EEAS برای سیستمهای SISO ..... ۷۰

۵-۳ طراحی بهینهٔ سیستم تک ورودی- تک خروجی QFT-EEAS ..... ۷۲

۵-۳-۱ شکل دهی هوشمند تابع انتقال حلقه باز ..... ۷۲

۵-۳-۲ طراحی هوشمند پیش فیلتر F(s) ..... ۷۶

۵-۴ طراحی بهینهٔ سیستم کنترل ترکیبی چند متغیرهٔ QFT-EEAS ..... ۷۸

۵-۴-۱ بیان مسألهٔ کنترل ترکیبی برای سیستم ۲×۲ ..... ۷۹

۵-۴-۲ شکل دهی هوشمند توابع انتقال حلقه باز ..... ۸۰

۵-۴-۳ طراحی هوشمند پیش فیلتر F(s) ..... ۸۴

۵-۵ مثالهای طراحی و نتایج شبیه سازی ..... ۸۵

**فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات** ۱۰۱

۶-۱ نتیجه گیری ..... ۱۰۱

۶-۲ پیشنهادات ..... ۱۰۴

**مراجع** ۱۰۵

**پیوست ۱** ۱۰۷

**پیوست ۲** ۱۱۶

# اختصارات

**BNIC :** "Basically Non-Interacting"

**EEAS :** "Externally Excited Adaptive System"

**GA :** "Genetic Algorithm"

**LGPS :** "Loop Gain - Phase Shaping"

**Lm :** "Logarithm magnitude"

**MIMO :** "Multiple Input - Multiple Output"

**MISO :** "Multiple Input - Single Output"

**QFT :** "Quantitative Feedback Theory"

**SISO :** "Single Input - Single Output"

**SOAS :** "Self - Oscillating Adaptive System"

**UHFB :** "Universal High Frequency Boundary"

# ۱

# مقدمه

## ۱-۱ تاریخچه

در مباحث مقدماتی کنترل، فرآیندهایی مورد استفاده قرار می گیرند که مشخصهٔ آنها در طول زمان عملیات تغییر نمی کند، یعنی فرض می شود که هیچ عامل خارجی در موقعیت صفر و قطبهای فرآیند مورد نظر تأثیر نمی گذارد. اما آنچه در دنیای واقعی به چشم می خورد آن است که چنین حالت ایده آلی وجود ندارد، یعنی حتی اگر عوامل خارجی کمترین اثر را داشته باشند، بالاخره تغییری هر چند ناچیز در مجموعه پارامترهای فرآیند دیده می شود. حال اگر این تأثیرات ناچیز هم نباشند بلکه تغییرات بزرگی را در پارامترهای فرآیند بوجود آورند، که البته نمونهٔ آن را در هدایت موشکها و کنترل پرواز هواپیماها می توان دید، دیگر با الگوهای سادهٔ کنترل نمی توان امید به عملکرد مناسب سیستم کنترلی داشت. گرچه با هیچ روشی نمی توان اثر تغییرات پارامترها را در خروجی بطور کامل از بین برد، لیکن الگوهایی تحت عنوان کلی روشهای طراحی مقاوم وجود دارند که لااقل می توانند عملکرد سیستم را آنگونه کنترل کنند که خروجی نهایی سیستم مورد نظر در یک محدودهٔ خاص و قابل قبول قرار گیرد. در میان این روشهای مقاوم، روشی تحت عنوان تئوری فیدبک کمی[۱] (QFT) وجود دارد بطوریکه در آن، کنترل کننده های سیستم حلقه بسته طوری طراحی می شوند که خروجی قابل قبولی را با توجه به گسترهٔ تغییرات پارامترهای فرآیند نتیجه دهند. ابزارهای لازم در این روش [۱، ۲] عبارتند از: دیاگرام نیکولز، منحنی های پایداری، ردیابی و اغتشاش.

از آنجائی که بسیاری از سیستمهای واقعی دارای ساختاری چند متغیره[۲] هستند، مهندسین کنترل علاقه مندی زیادی به تحلیل و طراحی سیستمهای فیدبک دار چند متغیرهٔ تغییر ناپذیر با

---

[۱] Quantitative Feedback Theory

[۲] Multivariable

زمان و دارای نامعینی[۳] دارند. روش طراحی QFT یکی از روشهای طراحی مقاومی است که در حوزهٔ فرکانس برای حل اینگونه مسائل و طراحی کنترل کننده برای آنها بکار می رود. در زمینهٔ طراحی کننده به روش QFT برای سیستمهای چند متغیرهٔ خطی، به غیر از هورویتز[۴] [۳] می توان به کارهای چین[۵] و همکاران [۴] و نیز چنگ[۶] و همکاران [۵، ۶] که در آنها فرمول بندی جدیدی برای فرآیندهای چند متغیرهٔ خطی و نامعین ارائه شده است اشاره کرد. فرانچک نیز [۷] از روش حذفی گوس جهت شکستن یک سیستم چند متغیره به چند سیستم تک متغیره استفاده نموده است. در سال ۱۹۷۹، هورویتز روشی ارائه داد که بر اساس قضیهٔ نقطه ثابت شاودر پایه ریزی شده بود. این روش که موسوم به روش غیر ترتیبی بوده، بر مبنای شکستن یک سیستم چند متغیرهٔ m×m به $m^2$ سیستم چند ورودی- تک خروجی استوار است، بطوریکه اثر بقیهٔ حلقه ها به صورت ورودی اغتشاش بر روی هر حلقه مدل می شود [۳].

در دههٔ ۱۹۶۰، مدلهایی در عرصهٔ کنترل تطبیقی ارائه شدند که بعدها به عنوان سیستمهای تطبیقی خودنوسان[۷] (SOAS) شهرت یافتند [۸]. این سیستمها یکی از الگوهای عملاً موفق در بین سیستمهای تطبیقی غیرخطی بوده اند که ابتدا در مسألهٔ کنترل پرواز با بازهٔ بزرگ تغییرات پارامتر بکار گرفته شدند. این ایده از کار بر روی کنترل تطبیقی پرواز در شرکت هانی ول ناشی شده است و تفکر اصلی و ابتدائی این الگوی تطبیقی را باید از کارهای فلوگ ـ لوتس[۸] در دانشگاه استانفورد دانست. سیستمهای مبتنی بر این ایده در هواپیماهای F-94C ، F-101 و X-15 مورد آزمایش پروازی قرار گرفتند. آنچه در بارهٔ این سیستمها حائز اهمیت می باشد این است که این مدلها نسبت به تغییرات بهرهٔ فرآیند از خود هیچگونه حساسیتی نشان نمی دهند. این موضوع منجر به گسترش بکارگیری اینگونه سیستمها خصوصاً در کاربردهای نظامی شد، اما به سبب داشتن یک نقطه ضعف اساسی حوزهٔ کاربرد آنها محدود گردید. آن نقطهٔ ضعف هم این بود که در این مدلها یک سیگنال سیکل حدی وجود دارد که اندازه و فرکانس آن برای هر فرآیندی قابل تحمل نمی باشد. این سیستمها بدین خاطر در زمرهٔ سیستمهای تطبیقی به شمار می روند که دامنهٔ سیکل حدی آنها با تغییرات بهرهٔ سیستم تنظیم شده و در نتیجه سیستم نسبت به تغییرات بهره مقاوم خواهد بود. برای این سیستمها طراحی جبران سازهائی که بتواند شرط نوسان را در کنار بقیهٔ قیود کنترلی تأمین نماید، کار بسیار دشواری است. نوع خاصی از سیستمهای تطبیقی خودنوسان وجود دارد که در طراحی آن، دیگر نیازی به در نظر گرفتن شرط نوسان نیست. این سیستم که به نام سیستم تطبیقی

---

[۳] Uncertainty

[۴] Horowitz

[۵] Chain

[۶] Cheng

[۷] Self - Oscillating Adaptive System

[۸] Flugge - Lotz

با تحریک خارجی[۹] یا EEAS موسوم است، اولین بار در سال ۱۹۷۵ توسط هورویتز پیشنهاد شد [۹]. به منظور ایجاد سیگنال نوسان در این سیستم، از یک ورودی سینوسی فرکانس بالا که از خارج به سیستم تزریق می شود، استفاده می گردد. این امر باعث می شود که طراحی اینگونه سیستمها نسبت به حالت قبل راحت تر انجام پذیرد. به هر حال، ایدهٔ بکارگیری سیستمهای تطبیقی خود نوسان، طراح را به این مسیر سوق می دهد که جهت افزایش کارآیی آن و همچنین کاهش حساسیت طرح نهایی نسبت به تغییرات تمامی پارامترها، از ایدهٔ تئوری فیدبک کمی که یکی از روشهای بسیار کارآمد در زمینهٔ طراحی های مقاوم می باشد، نیز بهره بگیرد [۲۲، ۲۳].

## ۱-۲ هدف از تحقیق

مروری بر تمام روشهای مبتنی بر فیدبک، نشان می دهد که هدف اصلی طراحان، همواره مصالحه بین کارایی فیدبک و اثر نویز بر ورودی فرآیند (به عنوان یک میزان کمّی مرسوم از هزینهٔ فیدبک) است. این مصالحه به ویژه در مورد فرآیندهایی با نامعینی و اغتشاش بزرگ و یا محدودهٔ عملکرد کوچک، از اهمیت زیادی برخوردار است. همچنین در تمامی روشهای مورد اشاره، دستیابی به کارایی مطلوب توأم با صرف حداقل هزینه مدّ نظر بوده است. از طرفی، کنترل سیستمهای با نامعینی پارامتری از موضوعات مهم در کنترل مقاوم به شمار می رود، که روشهای طراحی مقاوم متعددی در این زمینه وجود دارد. یکی از مشکلات طراحی های مقاوم از قبیل روش QFT ، زمانی بروز می کند که گسترهٔ نامعینی بهره بسیار وسیع باشد که در اینصورت، طراحی به کنترل کننده های با پهنای باند بزرگ و هزینهٔ کنترلی بالا منجر خواهد شد. برای رفع این معضل، می توان با استفاده ازسیستم تطبیقی خودنوسان، سیستم را نسبت به تغییرات بزرگ بهره مقاوم نمود و در نتیجه از عهدهٔ تغییرات وسیع بهرهٔ فرآیند برآمد.

در این پایان نامه، قصد داریم تا با تلفیقی مناسب بین یکی از ایده های کنترل مقاوم و نیز یکی از ایده های کنترل تطبیقی، کارکرد بهتری از هر کدام از این ایده ها برای هر دو نوع سیستم SISO[۱۰] و MIMO[۱۱] بدست آوریم. روش مقاوم در نظر گرفته شده، تئوری فیدبک کمی یا QFT بوده که یکی از قوی ترین روشهای طراحی مقاوم محسوب می شود. همچنین روش تطبیقی بکار گرفته شده نیز، روش طراحی EEAS می باشد. این روش تلفیقی، خصوصیات بسیار جالبی داشته و قادر است ایرادهای دو روش قبلی را برطرف نماید. از طرفی، استفاده از سیستم تطبیقی خودنوسان به تقویت کنترل کننده های مقاوم در مواجهه با سیستمهای نامعین دارای تغییرات وسیع بهره منجر

[۹] Externally Excited Adaptive System

[۱۰] Single-Input Single-Output

[۱۱] Multiple-Input Multiple-Output

خواهد شد و از طرف دیگر، با استفاده از این روش تلفیقی می توان برای سیستمهای دارای نامعینی پارامتری نیز روش طراحی خودنوسان را بکار برد.

## ۱-۳ ساختار پایان نامه

به منظور دستیابی به هدف مورد نظر، مجموعه مطالب زیر که مشتمل بر شش فصل است، در طول پایان نامه ارائه خواهد شد.

• *فصل دوم* : در این فصل، طراحی سیستمهای کنترل مقاوم بر اساس روش تئوری فیدبک کمی برای هر دو نوع سیستم تک ورودی- تک خروجی (SISO) و چند ورودی- چند خروجی (MIMO) مورد بررسی قرار گرفته است. این روش طراحی مقاوم مانند سایر روشهای مقاوم، سعی بر آن دارد تا حساسیت عملکرد سیستم حلقه بسته را نسبت به تغییرات پارامتری فرآیند و نیز عوامل خارجی ناخواسته از قبیل اغتشاش و نویز کم نماید. بدین منظور، ابتدا به طور خلاصه، مراحل طراحی روش QFT در سیستمهای SISO توضیح داده شده و نحوهٔ استفاده از خصوصیت مطرح شده بیان خواهد شد. سپس در ادامه، به طراحی سیستم کنترل مقاوم چند متغیره به روش غیر ترتیبی پرداخته و تک- حلقه ایهای مؤثر MISO بدست آورده می شوند. در خاتمه، با انجام شبیه سازیهائی برای مثالهای طراحی، روش طراحی مورد اشاره ارزیابی می گردد.

• *فصل سوم* : در این فصل، ایدهٔ کنترل تطبیقی با استفاده از سیستمهای تطبیقی خودنوسان SOAS و EEAS مطرح شده است. بدین منظور، ابتدا مبانی و اصول اولیهٔ حاکم بر اینگونه سیستمها را بیان نموده و سپس باختصار به معرفی سیستم SOAS می پردازیم. در ادامه، سیستم تطبیقی تحریک خارج EEAS را به تفصیل مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و عملکرد چنین سیستمی، ارزیابی خواهد شد. در نهایت، با ارائهٔ یک مثال شبیه سازی، نحوهٔ طراحی سیستم تطبیقی تحریک خارج EEAS تشریح خواهد شد.

• *فصل چهارم* : در این فصل، مبانی الگوریتم ژنتیک به عنوان یکی از روشهای بهینه سازی تصادفی ارائه گردیده است. بکارگیری این روش، باعث می شود که جهت بهینه سازی پارامترهای مورد نیاز و همچنین کمینه سازی توابع هزینهٔ مورد نظر، از یک روش سعی و خطای قانونمند پیروی گردد و بدین ترتیب، کاری را که می خواهیم در تلفیق روشهای طراحی QFT و EEAS به صورت دستی و بسیار خسته کننده و طاقت فرسا انجام دهیم، به سهولت با بهره گیری از توانائی های الگوریتم ژنتیک به انجام برسانیم.

• *فصل پنجم* : در این فصل، بطور مشروح راجع به تلفیق روش طراحی مقاوم QFT با روش طراحی تطبیقی EEAS برای هر دو نوع سیستم SISO و MIMO بحث خواهیم نمود. نشان داده خواهد شد که با استفاده از این روش تلفیقی، می توان طراحی EEAS را برای سیستمهای دارای نامعینی