بسم الله الرحمن الرحيم

تأسیس ۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده برق
گروه مهندسی کنترل

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

عنوان :

کنترل غیرمتمرکز سیستم‌های ابعاد وسیع به روش *QFT* با اصلاح باند حذف اغتشاش

اساتید راهنما:
پروفسور علی خاکی‌صدّیق
دکتر بتول لبیبی

دانشجو:
سیّد محمّد مهدی علوی

آبان۱۳۸۲

بسم الله الرحمن الرحیم

السلام علی یعسوب الدین و الایمان و کلمه الرحمن،

السلام علی میزان الاعمال و مقلب الاحوال و سیف ذی الجلال،

السلام علی حاکم یوم الدین،

یا مولای الیک وفودی و بک اتوسل الی ربی فی بلوغ مقصودی

این تحقیق و پژوهش را تقدیم می‌نمایم به ساحت مقدّس و ملکوتی

"مولای متّقیان، امیر مؤمنان، حضرت علی (ع) "

همچنین از مساعدت‌های بی‌دریق اساتید راهنمای بزرگوارم

پروفسور علی خاکی‌صدیق

و

دکتر بتول لبیبی

کمال تشکر و قدردانی را دارم.

سید محمد مهدی علوی

۱۳۸۲/۸/۱۷

مصادف با ۱۳ رمضان ۱۴۲۴

چکیده

از مسائل مطرح در سیستم‌های کنترل، نامعینی در مدل و ساختار است. در سال‌های اخیر، طرح کنترل‌کننده-هایی که در برابر نامعینی مدل مقاوم باشند و در شرایط مختلف کاری عملکرد مناسبی داشته باشند، مورد توجه فراوان قرار گرفته است. تئوری H_∞، سنتز μ، طراحی فیدبک کمی QFT و ... از جمله روش‌های کنترل مقاوم می‌باشند.

QFT یک روش مهندسی است که بر استفاده از فیدبک برای دستیابی به محدودهٔ عملکرد مطلوب، در حضور نامعینی و اغتشاشات، تاکید دارد و علاوه بر اطلاعات دامنه، از اطلاعات فاز نامعینی در طراحی استفاده می‌کند. ایده‌های اساسی روش QFT توسط هرویتز[1] در سال ۱۹۵۹ ارائه گردید. از مزایای QFT می‌توان به سادگی استدلال‌های ریاضی، مصالحه شفاف بین حلقه‌ها و اهداف کنترلی اشاره کرد.

تا به حال دو ایده در انتخاب عملکرد مطلوب در مسائل QFT مطرح شده است. یکی به محدودیت اعمالی بر اندازه پاسخ سیستم کنترل مربوط می شود که در اغلب کارهای انجام شده در زمینهٔ QFT استفاده شده است و دیگری به استفاده از ایده بهبود عملکرد خطای ردیابی[2] برمی‌گردد که در سال ۱۹۹۲ برای اولین بار توسط یانیف[3] مطرح شده است و هدف از آن محدود کردن خطای ردیابی سیستم در حضور نامعینی می‌باشد.

در راستای کنترل سیستم‌های $SISO$، در این پایان‌نامه روش جدیدی به هدف بهبود عملکرد خطای ردیابی، با استفاده از حل مسأله تطابق مدل ارائه شده است که ضمن سادگی، در حل مسأله $MIMO$ بسیار مؤثر می‌باشد.

همچنین در مورد کنترل سیستم‌های $MIMO$ با بهبود عملکرد خطای ردیابی، کارهای معدودی انجام شده است و این تحقیق در راستای بهبود روش‌های موجود می‌باشد.

---

[1] Horowitz
[1] Tracking Error
[3] Yaniv

معایب روش‌های ارائه شده در زمینه $MIMO-QFT$ با بهبود عملکرد خطای ردیابی را می‌توان چنین ذکر کرد که، استدلال شده است با کنترل‌کننده‌های غیرقطری دستیابی به عملکردهای مطلوب دشوار است و در نتیجه $MIMO-QFT$ با کنترل‌کننده‌های غیرقطری با بهبود عملکرد پاسخ سیستم کنترل به عنوان یک مسأله باز حل نشده مطرح است. علاوه بر آن، ارائه باندهای طراحی برای تک تک عناصر پیش‌فیلتر در دو حالت متمرکز و غیرمتمرکز، به عنوان مسأله باز حل نشده، مطرح می‌باشد. همچنین تا به حال در زمینه مسأله $MIMO-QFT$ غیر متمرکز با بهبود عملکرد خطای ردیابی روشی ارائه نشده است.

در این پایان‌نامه هدف رسیدن به روشی جدید برای حل مسألهٔ QFT با بهبود عملکرد خطای ردیابی است به طوری که کاستی‌های مطرح شده را رفع نماید. همچنین تلاش شده است تا وجود جواب بررسی شود. نشان داده شده است در صورتی که سیستم می‌نیمم فاز باشد دستیابی به هر عملکرد مطلوب خطای ردیابی امکان پذیر است در صورتی که برای سیستم‌های غیر می‌نیمم فاز این‌طور نیست و نیاز به در نظرگرفتن شرایط میانیابی[1] می‌باشد. می‌توان دستاوردهای این پایان‌نامه را به صورت زیر خلاصه نمود.

- ارائهٔ روش ساده و سیستماتیک مسأله QFT با بهبود خطای ردیابی و معرفی یک ساختار ساده برای پیش‌فیلتر در هر دو حالت $SISO$ و $MIMO$.
- مقایسه با روش تلفیق QFT/H_∞.
- از آنجا که کنترل غیرمتمرکز مسائل $MIMO$ بسیار ساده‌تر از ایده‌های مشابه متمرکز آن است در این پایان نامه روش حلی برای مسأله $MIMO-QFT$ غیر متمرکز ارائه شده است که دستیابی به آن بسیار ساده است.

[2]Interpolation Condition

- در روش ارائه شده با پیش‌فیلتر غیر قطری، ضمن سادگی طراحی تک تک عناصر پیش‌فیلتر، دستیابی به هر مشخصهٔ مطلوب، بسادگی امکان پذیر است که در[HORO03] به عنوان یک مسأله باز مطرح شده است.
- ارائه ایده‌ای که منجر به طراحی عناصر پیش‌فیلتر از طریق معادلات مربعی و رسم باندهای مطلوب در صفحه نیکولز می‌شود. از مزیت این ایده بهینه شدن ساختار پیش‌فیلتر نسبت به استفاده از مسأله تطابق مدل است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل ۱ مقدمه	**۱**
۱-۲ کنترل مقاوم QFT	۳
۱-۳ هداف پایان نامه	۷
فصل ۲ مروری بر طراحی *MIMO-QFT*	**۱۰**
مقدمه	۱۰
۲-۱ فرموله‌بندی مسأله $MIMO-QFT$	۱۱
۲-۲ روش‌های متداول $MIMO-QFT$	۱۲
۲-۳ تاریخچه مسأله QFT با بهبود عملکرد خطای ردیابی	۱۶
نتیجه‌گیری	۱۸
فصل ۳ مسأله *SISO-QFT* برای بهبود عملکرد خطای ردیابی	**۲۲**
مقدمه	۲۲
۳-۱ بیان مسئله $SISO-QFT$ برای بهبود عملکرد خطای ردیابی	۲۴
۳-۲ معرفی پیش‌فیلتر	۲۶
۳-۳ طراحی جبرانساز و انتخاب مدل حذف اغتشاش خروجی	۲۷
۳-۴ مراحل طراحی	۲۸
۳-۵ مثال	۲۹

عنوان **صفحه**

نتیجه‌گیری ۳۵

فصل ۴ کنترل غیرمتمرکز *MIMO-QFT* با بهبود عملکرد خطای ردیابی ۳۶

مقدمه ۳۶

۴-۱ بیان مسئله کنترل غیرمتمرکز $MIMO-QFT$ با بهبود عملکرد خطای ردیابی ۳۷

۴-۲ تبدیل مسأله *MIMO* به حالت *SISO* ۳۸

۴-۳ معرفی پیش‌فیلتر مناسب و انتخاب مدل حذف اغتشاش مطلوب جهت طراحی جبران‌ساز ۴۱

۴-۴ مراحل طراحی ۴۳

۴-۵ مثال ۴۴

نتیجه‌گیری ۵۲

فصل ۵ کنترل غیرمتمرکز *MIMO-QFT* با بهبود عملکرد خطای ردیابی ۵۴

مقدمه ۵۴

۵-۱ بیان مسئله کنترل متمرکز $MIMO-QFT$ با بهبود عملکرد خطای ردیابی ۵۶

۵-۲ تبدیل مسأله *MIMO* به حالت *SISO* ۵۷

۵-۳ مراحل طراحی ۵۹

۵-۴ مثال ۵۹

نتیجه‌گیری ۶۳

عنوان **صفحه**

فصل ۶ نتیجه‌گیری و پیشنهادات **۶۴**

۶-۱ نتیجه‌گیری ۶۴

۶-۲ پیشنهادات در ادامهٔ روش ارائه شده ۶۵

مراجع **۶۶**

فصل۱

مقدمه

از مسائل مطرح در سیستم‌های کنترل، نامعینی در مدل و ساختار است. در سال‌های اخیر، طرح کنترل‌کننده-هایی که در برابر نامعینی مدل مقاوم باشند و در شرایط مختلف کاری عملکرد مناسبی داشته باشند، مورد توجه فراوان قرار گرفته است. تئوری H_∞، سنتز μ، طراحی فیدبک کمی QFT و ... از جمله روش‌های کنترل مقاوم می‌باشند.

تئوری H_∞ یکی از مهمترین و کاراترین روش‌های کنترل مقاوم است که برای اولین بار توسط زیمس[۱] در اوایل دهه۶۰ با بیان " قضیه بهره کوچک"[۲] مطرح شد. در این تئوری با در نظر گرفتن یک کران بالا در حوزه فرکانس برای نامعینی سیستم، هدف طراحی کنترل‌کننده‌ای است که سیستم را در برابر نامعینی پایدار کرده و عملکرد سیستم را در برابر بدترین شرایط بهینه نماید [صمدی۸۱] و [لبیبی۸۰].

سنتز μ نیز از روش‌های کنترل مقاوم است که برای اولین بار توسط دویل[۳] در اوایل دهه ۸۰ مطرح شد. این روش از تئوری مقادیر تکین[۴] مختلط سود می‌جوید و حالت خاصی از تئوری H_∞ است که برای انحرافات و

[1] Zames
[2] Small Gain Theorem
[3] Doyle
[4] Singular Value

نامعینی‌های ساختار یافته[1] گسترش یافته است و دارای محافظه‌کاری کمتری نسبت به تئوری H_∞ می‌باشد [لبیبی ۸۰].

از مزایای مهم تئوری H_∞ و سنتز μ، چارچوب محکم ریاضی و قوت تحلیلی زیاد آن بدلیل اکتفا به نامعینی غیرساختاری[2] و صرفنظر از اطلاعات فاز نامعینی می‌باشد. بدین جهت محققین زیادی را به خود جذب کرده است بگونه‌ای که حجم تحقیقات جاری بر روی این روش‌ها بیشتر از QFT می‌باشد. اما بالا بودن درجه جبران‌سازها، مناسب نبودن نیروی کنترلی[3] در طراحی‌ها و استفاده از ساختار یک درجه آزادی از معایب این روش‌ها محسوب می‌شود [لبیبی ۸۰] و [خیاطیان ۷۶].

اخیراً سعی شده با گنجاندن تابع تبدیل نیروی کنترلی در اهداف طراحی، مشکل نیروی کنترلی رفع شود اما این کار علاوه بر اینکه مشکل انتخاب وزن‌ها را افزایش می‌دهد، مسأله را به یک مسأله وزین مخلوط تبدیل می‌کند که حل آن به محافظه‌کاری پاسخ می‌افزاید [خیاطیان ۷۶].

همچنین اخیراً تلاش‌هایی برای دستیابی به جبران‌سازها با مرتبه پایین در تئوری H_∞ صورت گرفته است که با اعمال محدودیت‌هایی، کنترل‌کننده‌هایی با مرتبه پایین‌تر از یک مقدار مشخص با استفاده از LMI[4] و با جایابی قطب‌های[5] سیستم حلقه بسته بدست می‌آید [GAHI94]، [CHIL96] و [لبیبی ۸۰].

دسته دیگری از روش‌های کنترل مقاوم، روش QFT[6] است. ایده‌های اساسی آن توسط هرویتز[7] در سال ۱۹۵۹ ارائه گردید. QFT یک روش مهندسی است که بر استفاده از فیدبک برای دستیابی به محدودهٔ عملکرد مطلوب، در حضور نامعینی و اغتشاشات، تاکید دارد و علاوه بر اطلاعات دامنه، از اطلاعات فاز نامعینی در طراحی استفاده می‌کند. [لبیبی ۸۰]، [HORO91,01] و [HOUP99].

---

[1] Structured Uncertainty
[2] Unstructured Uncertainty
[3] Control Effort
[4] Linear Matrix Inequality
[5] Pole Placement
[6] Quantitative Feedback Theory
[7] Horowitz

بر این روش نیز ایرادهایی مطرح شده است که از مهمترین آنها می‌توان به عدم پشتوانه ریاضی این تئوری اشاره کرد. بسیاری از انتقاداتی که در این مورد شده است در [CHAI91,93a,b] و [JAYA94] و [ZHAO96] رفع شده است. مهمتر از همه اینکه نشان داده شده است جواب در H_∞ وجود پاسخ در همان مسأله QFT را تضمین می‌کند در حالی‌که عکس این مطلب همیشه صادق نیست [ZHAO96]. همچنین نشان داده شد برای یک سیستم می‌نیمم فاز با نامعینی ساختار یافته است که هیچ صفر و قطبی روی محور موهومی ندارد، همیشه یک جواب QFT وجود دارد که عملکرد مقاوم را پایدار سازد [JAYA94].

علاوه بر این از مزایای QFT می‌توان به سادگی استدلال‌های ریاضی، مصالحه شفاف بین حلقه‌ها و اهداف کنترلی اشاره کرد.

یکی از انتقادات وارد بر $MIMO-QFT$ عدم بهینگی آن است، در حالی‌که از ابتدا نیز هیچ ادعایی روی بهینگی آن نشده است و ادعای آن به ارائه یک الگوریتم ساده و سیستماتیک برای دسته وسیعی از سیستم‌های نامعین برمی‌گردد. قابل ذکر است که تا به حال نیز هیچ روشی ادعای بهینگی در کنترل مقاوم $MIMO$ را نکرده است اما با این وجود همگان حتی بنیانگذاران H_∞ و سنتز μ، به قوت QFT در طراحی $SISO$ اذعان دارند [DOYL86].

۱-۱ کنترل مقاوم QFT

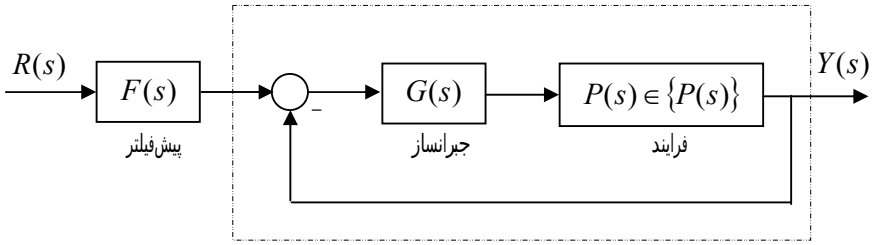
همانطور که گفته شد QFT یک روش مهندسی است که بر استفاده از فیدبک برای دستیابی به محدودهٔ عملکرد مطلوب، در حضور نامعینی و اغتشاشات، تاکید دارد [لبیبی ۸۰]، [HORO91,01] و [HOUP99].

تا به حال دو ایده در انتخاب عملکرد مطلوب در مسائل QFT مطرح شده است. یکی به محدودیت اعمالی بر اندازه پاسخ سیستم کنترل مربوط می شود که در اغلب کارهای انجام شده در زمینهٔ QFT استفاده شده است

و دیگری به استفاده از ایده بهبود عملکرد خطای ردیابی[1] برمی‌گردد. این ایده در [YANI92] مطرح شده است و هدف از آن محدود کردن خطای ردیابی سیستم در حضور نامعینی می‌باشد.

اساس QFT بر طراحی $LTI / MISO$[2] زمان پیوسته قراردارد و هر یک از انواع دیگر سیستم‌ها به نحوی به این مسأله تبدیل می‌شوند. به عنوان نمونه در اواخر دهه ۷۰ و اوایل دهه ۸۰ چند روش مختلف برای تعمیم ایده $SISO-QFT$ به مسائل $MIMO$ توسط هرویتز و همکارانش ارائه شد که در همه آنها مسأله طراحی کنترل کننده چند متغیره به طراحی تعدادی سیستم تک حلقه معادل تبدیل می‌شود[HORO79,82]، [YANI86].

حل این مسأله در دو مرحله صورت می‌گیرد. در مرحلهٔ اول با توجه به میزان تغییرات مجاز در هر فرکانس، نامعینی بیش از میزان تا حد مطلوب کاهش داده می‌شود و در مرحلهٔ دوم جهت برآورده ساختن مشخصات مطلوب، نامعینی کاهش یافته در محدودهٔ مجاز قرار می‌گیرد به همین دلیل QFT بر اساس ساختار دو درجهٔ آزادی مطابق شکل(۱-۱) بنا شده است.



شکل(۱-۱) ساختار کنترل دو درجهٔ آزادی

قرارداد ۱: لازم به یادآوری است در این پایان‌نامه منظور از *جبرانساز*، کنترل‌کنندهٔ $G(s)$ و منظور از *پیش‌فیلتر*، $F(s)$ می‌باشد. همچنین منظور از سیستم *حلقه بسته*، قسمتی از سیستم کنترل است که با نقطه‌چین در

[1] Tracking Error
[2] Linear Time Invariant / Multi Input-Single Output

شکل(۱-۱) مشخص شده است و در نهایت عبارت سیستم *کنترل*، به کل سیستم با ساختار دو درجهٔ آزادی اطلاق می‌شود.

قرارداد ۲: همچنین از این پس در این پایان نامه از کارهایی که از عملکرد مطلوب پاسخ سیستم کنترل تبعیت می‌کنند، با عبارت *روش های متداول* QFT یاد می‌شود.

چندین ایده در مورد کنترل سیستم‌های $MIMO$ مطرح است که از مهمترین آنها می‌توان به کنترل متمرکز[1] و غیرمتمرکز[2] اشاره نمود. در کنترل متمرکز تمام اطلاعات سیستم در یک نقطه جمع‌آوری و فرمان‌های کنترل محاسبه و به عملگرها ارسال می‌شوند. کنترل غیرقطری بلوکی سیستم‌های $MIMO$ نوعی کنترل متمرکز به حساب می‌آیند. در این روش کنترلی بدلیل تعدد ورودی‌ها و خروجی‌ها محاسبات زیاد و پیچیده مورد نیاز است. همچنین ماهیت بعضی سیستم‌ها به صورتی است که مدل‌سازی و تحلیل و کنترل آن به شکل متمرکز اغلب به نتایج نامعتبر می‌انجامد. در چنین سیستم‌هایی، روش‌های مرحله به مرحله و بررسی محلی با تکیه بر ارتباط زیرسیستم‌ها کاراتر است. این ایده منجر به کنترل غیرمتمرکز گردید که بیشترین کاربرد را در تئوری و عمل دارد. کنترل قطری زیر سیستم‌های $SISO$ از یک سیستم $MIMO$ نوعی کنترل غیرمتمرکز به حساب می‌آیند. در بعضی روش‌های کنترلی ابتدا با روش‌های کنترل متمرکز و با استفاده از پیش‌جبران‌سازها غیر قطری، سیستم دکوپله[3] و یا غالب قطری[4] شده، و برای کنترل غیرمتمرکز آماده می‌شود.

در کنترل مقاوم $MIMO-QFT$ نیز ایده استفاده از زیرسیستم‌های $SISO$ مجزا برای کنترل، بسیار مورد توجه واقع شد. گرچه با این کار فوق طراحی[5] وارد می‌شود و درجه آزادی کمتری وجود دارد اما سادگی روش‌های ارائه شده باعث شد تا تقریباً در تمام روش‌های متداول ارائه شده $MIMO-QFT$، از کنترل‌کننده‌های

[1] Centralized
[2] Decentralized
[3] Decouple
[4] Diagonal Dominant
[5] Overdesign

قطری (غیرمتمرکز) استفاده شود. در این روش‌ها اثرات زیر سیستم‌ها بر یکدیگر به صورت تداخل در نظرگرفته می‌شوند.

در رابطه با کنترل متمرکز نیز استدلال شده است که با کنترل‌کننده‌های غیرقطری دستیابی به عملکردهای مطلوب دشوار است و $MIMO-QFT$ با کنترل‌کننده‌های غیرقطری با بهبود عملکرد پاسخ سیستم کنترل به عنوان یک مسأله باز حل نشده مطرح است [HORO03]. با این وجود در زمینه دستیابی به کنترل‌کننده‌های غیرقطری نیز تلاش‌هایی صورت گرفته است. در بعضی از مراجع تلاش شده است ابتدا با یک پیش‌جبران‌ساز، یک سیستم غالب قطری یا $BNIA$ [1] و یا دکوپله حاصل شود و سپس با جبران‌ساز و پیش‌فیلتر قطری عملکرد مطلوب بدست آید [BOJE02a]، [CHAN99]، [CHEN97]، [NWOK95a,b]. در برخی کارها نیز دستیابی به عملکرد مطلوب فقط با ساختار ابتدایی QFT که شامل جبران‌ساز و پیش‌فیلتر است مورد مطالعه قرار گرفته است[GARC02]. این روش‌ها منجر به طراحی کنترل‌کننده‌های بیشتر و با محاسبات پیچیده‌تر شده است.

ایدهٔ دیگری که در QFT مطرح شده است، استفاده از عملکرد مطلوب خطای ردیابی است. این ایده برای اولین بار در [YANI92] در حالت $MIMO$ مطرح شد. در این ایده، با تعریف خطای ردیابی به صورت اختلاف تابع تبدیل مدل مرجع[2] و سیستم کنترل، هدف محدود کردن خطای ردیابی سیستم در حضور نامعینی می‌باشد. در این مقاله روشی برای رسیدن به عملکرد مطلوب ارائه شده که با یکسان انتخاب کردن دینامیک پیش‌فیلتر و مدل مرجع منجر به *از دست دادن یک درجه آزادی می‌گردد*. بعداً این ایده در حالت $SISO$ در [EITE00] پیگیری شد که از معایب آن می‌توان به انتخاب مدل مرجع $M=1$ اشاره کرد. همچنین در [BOJE01,03] این مسأله در حالت $SISO$ با هدف بهبود طراحی پیش‌فیلتر مطرح شد. *استفاده از هر دو عملکرد مطلوب مطرح شده در* QFT ، بخاطر ارائه ندادن روشی مستقل برای طراحی جبرانساز و استفاده از روش‌های متداول در

[1] Basically Non-Interacting
[2] Model Reference

طراحی جبرانساز، در [BOJE01,03] از معایب این مقاله محسوب می‌شود. در حالت *MIMO* نیز این مسأله با ارائه مقاله [BOJE02b] دوباره مطرح شد. مشکل از دست دادن یک درجه آزادی ساختار سیستم کنترل که از یکسان در نظر گرفتن دینامیک مدل مرجع و پیش‌فیلتر ناشی شده بود، رفع شد اما در روش ارائه شده مشکل بزرگی پدیدار شد و آن مربوط به *غیر قطری شدن و مرتبه بالا شدن پیش‌فیلتر* می‌باشد. علاوه بر آن، *ارائه باندهای طراحی برای تک تک عناصر پیش‌فیلتر* به عنوان مسأله باز حل نشده، مطرح گردید.

همچنین در تحقیقات به عمل آمده، مقاله‌ای که مسأله *MIMO – QFT* *غیر متمرکز* با بهبود عملکرد خطای ردیابی را حل کند، یافت نشد و به عنوان مسأله باز مطرح است.

۱-۲ اهداف پایان نامه

در این پایان‌نامه هدف رسیدن به روشی جدید برای حل مسألهٔ *QFT* با بهبود عملکرد خطای ردیابی است به طوری که کاستی‌های مطرح شده را رفع نماید. از آنجا که ساختار مسألهٔ بهبود خطای ردیابی مشابهت زیادی به مسألهٔ تطابق مدل[1] استاندارد مطرح شده در [DOYL92] و [FRAN87] دارد، لذا ایده حل به استفاده از روش مطرح شده در [DOYL92] و [FRAN87] برمی‌گردد. همچنین در این پایان‌نامه وجود جواب بررسی شده و نشان داده شده است در صورتی که سیستم می‌نیمم فاز باشد دستیابی به هر عملکرد مطلوب خطای ردیابی امکان پذیر است در صورتی که برای سیستم‌های غیر می‌نیمم فاز این‌طور نیست و نیاز به در نظرگرفتن شرایط میانیابی[2] می‌باشد. می‌توان دستاوردهای این پایان‌نامه را به صورت زیر خلاصه نمود.

- ارائهٔ روش ساده و سیستماتیک مسأله *QFT* با بهبود خطای ردیابی و معرفی یک ساختار ساده برای پیش‌فیلتر در هر دو حالت *SISO* و *MIMO*. البته بدلیل استفاده از مسألهٔ تطابق

[1] Model Matching Problem
[2] Interpolation Condition

مدل، پیش‌فیلتری با مرتبهٔ بالاتر از روش‌های قبلی نتیجه می‌شود که می‌توان با انتخاب مدل مرجع $M(s)=1$ در حالت $SISO$ و انتخاب ماتریس مدل مرجع $\mathbf{M}(s)=\mathbf{I}$ برای حالت $MIMO$، مرتبهٔ آنرا کاهش داد. نشان داده می‌شود در ازای این انتخاب، تابع کمکی پیشنهادی، هزینهٔ بیشتری را در فرکانس‌های بالا تحمیل می‌کند که ناشی از زیاد بودن خطای ردیابی در لحظات اولیهٔ کنترل است. همچنین در حالت $SISO$ مقایسه‌ای با روش تلفیق QFT/H_∞، [SIDI02]، ارائه شده است.

- از آنجا که کنترل غیرمتمرکز مسائل $MIMO$ بسیار ساده‌تر از ایده‌های مشابه متمرکز آن است در این پایان نامه روش حلی برای مسأله $MIMO-QFT$ غیر متمرکز ارائه شده است که دستیابی به آن بسیار ساده است. در [YANI92] چنانچه مدل مرجع قطری در نظر گرفته شود این هدف برآورده می‌شود، اما بدلیل از دست دادن یک درجه آزادی در طراحی پیش‌فیلتر، نمی‌توان آنرا جزء روش‌هایی غیرمتمرکز $MIMO-QFT$، قلمداد کرد.
- در روش ارائه شده با پیش‌فیلتر غیر قطری، ضمن سادگی طراحی تک تک عناصر پیش‌فیلتر، دستیابی به هر مشخصهٔ مطلوب، بسادگی امکان پذیر است که در[HORO03] به عنوان یک مسأله باز مطرح شده است.
- ارائه ایده‌ای که منجر به طراحی عناصر پیش‌فیلتر از طریق معادلات مربعی[1] و رسم باندهای مطلوب در صفحه نیکولز می‌شود. از مزیت این ایده بهینه شدن ساختار پیش‌فیلتر نسبت به استفاده از مسأله تطابق مدل است.

این پایان‌نامه بدین صورت تنظیم شده است که، در فصل ۲ توضیحات جامعی راجع به روشهای متداول $MIMO-QFT$ مطرح گردیده است. همچنین طراحی $MIMO-QFT$ با بهبود عملکرد خطای ردیابی بررسی

[1] Quadratic Equations

شده و مزایا و معایب کارهایی که تا بحال در این زمینه انجام شـده، شـرح داده شـده اسـت. در فصـل ۳ مسـألهٔ $SISO-QFT$ با بهبود عملکرد خطای ردیابی بررسی و نحوهٔ انتخاب مدل حذف اغتشاش خروجی مطرح شـده و مراحل طراحی به صورت سیستماتیک به همراه مثالی بیان شده و مقایسه‌ایی بـا روش‌هـای تلفیـق QFT/H_∞ صورت گرفته است. در فصل ۴ مسألهٔ کنترل غیرمتمرکز $MIMO-QFT$ با بهبود عملکرد خطای ردیابی بررسی شده و نحوهٔ انتخاب مدل حذف اغتشاش خروجی مطرح شده است. در فصل ۵ کنترل $MIMO-QFT$با پیش-فیلتر غیرقطری حل گردیده است. در هر مورد مثالی ارائه شده و در نهایت در فصل ۶ به بیـان نتـایج روش‌هـای ارائه شده پرداخته و ایده‌هایی برای بهبود و ادامهٔ کار در این زمینه آورده شده است.

فصل ۲

مروری بر طراحی *MIMO-QFT*

مقدمه

همانطور که گفته شد در اواخر دههٔ ۷۰ و اوایل دههٔ ۸۰ چند روش مختلف برای تعمیم ایدهٔ $SISO-QFT$ به مسائل $MIMO$ توسط هرویتز و همکارانش ارائه شد که در همهٔ آنها مسأله طراحی کنترل‌کنندهٔ چند متغیره به طراحی تعدادی سیستم تک حلقه معادل تبدیل می‌شود. می‌توان گفت که اساس این روش ها مبتنی بر دو ایده طراحی غیرترتیبی و ترتیبی می‌باشد. سپس ایده‌های تلفیق QFT/INA، اصلاح باندهای طراحی و تلفیق QFT/H_∞ برای حل مسأله $MIMO-QFT$ مطرح شد. همچنین کنترل مقاوم سیستم‌های ابعاد وسیع با استفاده از تئوری فیدبک کمی (QFT)، در [لبیبی۸۰] ارائه شده است که مبتنی بر غالب قطری نمودن سیستم $MIMO$ است. در تمامی روش‌های فوق الذکر از عملکرد مطلوب پاسخ سیستم کنترل بهره گرفته شد و استفاده از روش-های مبتنی بر بهبود عملکرد خطای ردیابی به [YANI92]، [EITE00] و [BOJE01,02b,03] محدود می‌شود که توضیحات جامعی در ادامه آورده شده است.

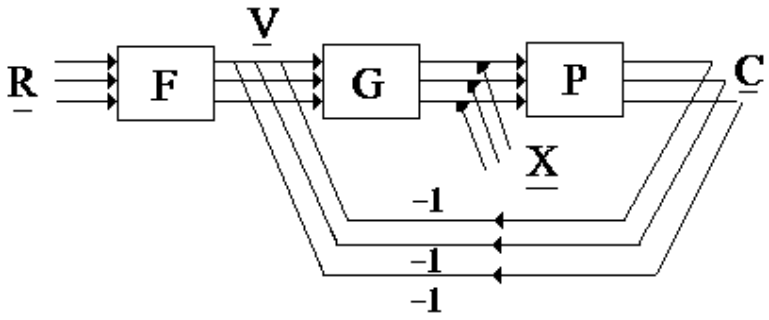
در این فصل ابتدا در بخش ۲-۱ مسأله $MIMO-QFT$ در دوحالت روش‌های متداول و روش‌های مبتنی بر بهبود عملکرد خطای ردیابی فرموله بندی می‌شود. سپس تاریخچه روش‌های متداول کنترل

$MIMO-QFT$ با مزایا و معایب هر یک در بخش ۲-۲ توضیح داده می‌شود. در بخش ۲-۳ تاریخچه روش‌های $MIMO-QFT$ مبتنی بر بهبود عملکرد خطای ردیابی بیان شده و در بخش ۲-۴ نیز رهیافت $MIMO-QFT$ با بهبود عملکرد خطای ردیابی توضیح داده می‌شود.

۲-۱ فرموله بندی مسأله *MIMO-QFT*

شکل (۲-۱) ساختار فیدبک با دو درجه آزادی را برای سیستم های $MIMO$ مربعی $n\times n$ نشان می‌دهد. $\mathbf{P}(s)$ ماتریس تابع تبدیل است که در حوزه نامعینی فرایند قرار دارد. ماتریس تابع تبدیل سیستم کنترل عبارت است از

$$\mathbf{T}_m = [t_{mij}] = (\mathbf{I}+\mathbf{PG})^{-1}\mathbf{PGF} \qquad (۲-۱)$$



شکل(۲-۱) ساختار کنترل دو درجه آزادی $MIMO-QFT$

هدف طراحی عبارتست از تعیین عناصر جبرانساز $\mathbf{G}(s)$ و پیش فیلتر $\mathbf{F}(s)$ بگونه‌ای که سیستم حلقه بسته علیرغم وجود نامعینی، پایدار بوده و مشخصات مطلوب برای عملکرد سیستم برآورده گردد.

در روش‌های متداول $MIMO-QFT$، عملکردهای مطلوب بر پاسخ سیستم کنترل به صورت (۲-۲) گذاشته می‌شود.