دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق - گرایش کنترل

پایش عملکرد

در سیستم های کنترل چندمتغیره غیرمتمرکز

استاد راهنما: دکتر علی خاکی صدیق

استاد مشاور: دکتر علیرضا فاتحی

نگارش: صالحه چوبکار

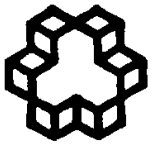
بهمن ۱۳۸۸

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به:

مادر مهربانم،

به پاس تمام زحماتش.



تاسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

تائیدیه هیات داوران

هیات داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان

"جفت سازی ورودی – خروجی بر مبنای معیارهای پایش عملکرد سیستم های کنترلی"

توسط خانم صالحه چوبکار، صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش کنترل در تاریخ ۱۳۸۸/۱۱/۳۰ با رتبه مورد تأیید قرار می دهند.

۱- استاد راهنما	جناب آقای دکتر علی خاکی صدیق	امضاء
۲- استاد مشاور	جناب آقای دکتر علیرضا فاتحی	امضاء
۳- ممتحن داخلی	جناب آقای دکتر حمید خالوزاده	امضاء
۴- ممتحن خارجی	جناب آقای دکتر بیژن معاونی	امضاء
۵- نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده		امضاء

تاسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

اظهارنامه دانشجو

اینجانب صالحه چوبکار، دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق، گرایش کنترل، دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان نامه با عنوان

پایش عملکرد در سیستم های کنترل چندمتغیره غیرمتمرکز

با راهنمایی استاد محترم جناب آقای دکتر علی خاکی صدیق، توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت واصالت مطالب نگارش شده در این پایان نامه مورد تأیید می باشد، و در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده ام.

امضاء دانشجو

تاریخ

تاسیس ۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می باشد .هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.

ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مراجع مجاز نمی باشد.

*توجه:

این فرم می بایست پس از تکمیل، در نسخ تکثیر شده قرار داده شود.

تقدیر و تشکر

ای برتر از خیال و قیاس و گمان و وهم وز هرچه گفته اند و شنیدیم و خوانده ایم،

مجلس تمام گشت و به آخر رسید عمر ما همچنان در اول وصف تو مانده ایم.

خداوند منان را شکرگذارم که توان انجام آنچه را که وظیفه خود می دانستم به من عطا نمود. او را سپاس می گویم و نعمات بیکرانش را ارج می نهم.

قدرشناس زحمات فراوان استاد گرانقدرم، جناب آقای دکتر علی خاکی صدیق هستم که صبور و هوشمند با راهنمایی های بی دریغ خود، انجام این پروژه را میسر نمودند. امیدوارم بتوانم ذره ای از محبت های ایشان را جبران کنم.

همچنین از جناب آقای دکتر علیرضا فاتحی که با مشاوره های ارزشمند خود بسیاری از مشکلات را آسان نمودند قدردانی می کنم.

از اساتید بزرگوارم، جناب آقای دکتر خالوزاده و جناب آقای دکتر معاونی که زحمت ارزیابی این پایان نامه را پذیرفتند، تشکر می کنم.

در برابر خانواده و خصوصا مادر مهربانم سر تعظیم فرود می آورم و از الطاف و محبت های بیکرانشان متشکرم.

در پایان از تمامی دوستانم در گروه پژوهشی ایپک، به خصوص خانم ها وطن خواه، سلطانیان و پارسایی و آقایان منشی زاده، قاضی مغربی، نشاسته ریز، صادقی و باقری، که با فراهم کردن محیطی آرام و دوستانه، انجام پروژه را آسان تر نمودند، ممنونم و برایشان آرزوی موفقیت و سعادت دارم.

"خدایا! ما بنده توایم و بنده را جز اطاعت نشاید. به ما الفبای بندگی بیاموز."

چکیده

کنترل کننده های غیرمتمرکز به دلیل سادگی طراحی و تنظیم و نیز هزینه کمتر نسبت به کنترل کننده های متمرکز، در سیستم های صنعتی به طور وسیع به کار می روند. انتخاب ساختار کنترل یا جفت سازی ورودی – خروجی، بخش مهمی از طراحی کنترل کننده های غیرمتمرکز را برای سیستم های چندمتغیره تشکیل می دهد. در این پایان نامه، ارتباط بین جفت سازی ورودی – خروجی و معیار به عنوان یک معیار پایش عملکرد سیستم های کنترلی بررسی شده است. با به کار گیری آرایه بهره نسبی (RGA) که یکی از مهمترین ابزارها در انتخاب ساختار کنترلی است، و طراحی کنترل کننده مینیمم واریانس برای هر یک از جفت های ممکن، مقدار معیار Harris می تواند جفت مناسب ورودی - خروجی را که منجر به واریانس مینیمم در خروجی می شود، تعیین کند. معیار Harris با استفاده از ضرایب مارکوف تابع تبدیل سیستم حلقه بسته محاسبه می شود. با ارائه نتایج شبیه سازی، ایده اصلی این پایان نامه روشن شده است.

کلمات کلیدی: پایش عملکرد، کنترل کننده غیرمتمرکز، کنترل کننده مینیمم واریانس، جفت سازی ورودی - خروجی، معیار Harris.

فهرست مطالب

مقدمه ۱

فصل اول: مفاهیم و تعاریف اولیه ۴

۱-۱- جفت سازی ورودی – خروجی ۵

۱-۱-۱- آرایه بهره نسبی ۶

۱-۱-۲- آرایه بهره نسبی موثر (ERGA) ۸

۱-۱-۳- آرایه انرژی نسبی موثر (EREA) ۹

۱-۲- طراحی کنترل کننده مینیمم واریانس ۱۰

۱-۲-۱- طراحی در فضای توابع تبدیل ۱۱

۱-۲-۲- طراحی در فضای حالت ۱۵

فصل دوم: پایش عملکرد سیستم های کنترلی ۱۹

۲-۱- عوامل کاهنده عملکرد کنترلی ۲۰

۲-۲- روند اساسی ارزیابی ۲۵

۲-۳- روش ها و معیارهای ارزیابی عملکرد کنترلی ۲۶

۲-۳-۱- معیار Harris ۲۷

۲-۳-۲- معیار واریانس نسبی ۳۱

۲-۳-۳- معیارهای اصلاح شده یا مطابق خواسته کاربر ۳۲

۲-۳-۴- معیارهای پیشرفته ۳۴

۲-۳-۵- معیار ساختار محدود یا بر مبنای مدل ۳۶

۲-۳-۶- سایر معیارها و شاخص ها ۳۶

۲-۳-۷- آزمون تشخیص غیرخطی گری ۳۸

۲-۳-۸- شاخص های تشخیص نوسان ۴۱

۲-۳-۹- معیار idle ۴۲

فصل سوم: سیستم حلقه بسته در فضای حالت ۴۴

فصل چهارم: جفت سازی ورودی-خروجی براساس معیار عملکرد سیستم های کنترلی ۵۷

۴-۱- محدودیت عملکرد کنترلی ۵۹

۴-۲- جفت سازی ورودی - خروجی ۶۲

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۷۴

مراجع ۷۷

مقدمه

پایش[۱] یا ارزیابی[۲] عملکرد سیستم کنترلی، یکی از فنون مدیریتی مهم در مراقبت از عملکرد سیستم‌های تولیدی است. پایش، به معنای مراقب بودن برای مشاهده تغییر در آمارهٔ موثر بر عملکرد کنترلی در طول زمان است و ارزیابی، به سنجش آماره در یک زمان مشخص اشاره دارد. هرچند این دو لغت اغلب به جای یکدیگر استفاده می‌شوند. سایر لغات قابل استفاده عبارتند از بازرسی حلقه و مدیریت حلقه کنترلی.

بروز رفتارهای ناهنجار در حلقه‌های یک سیستم کنترلی، از جمله سنسورها و محرک‌ها، در شرایط صنعتی بسیار معمول است و اثر آن، ایجاد اختلال در فرآیند و لذا کاهش عملکرد سیستم، افزایش هزینه‌ها و قطع کنترل کیفیت تولید است. از این رو تشخیص سریع و اقدام برای تصحیح چنین ناهنجاری‌هایی می‌تواند در کاهش اختلالات مهم باشد. هدف اصلی در پایش عملکرد کنترلی [۳] (CPA)، تأمین روشی خودکار و روی خط[۴] برای آماده‌سازی اطلاعاتی است که بر اساس آن‌ها بتوان تشخیص داد آیا بوسیله متغیرهای کنترل‌شده فرآیند، به اهداف عملکردی تعیین شده و خصوصیات مطلوب پاسخ‌ها دست یافته‌ایم یا خیر؟ و نیز بتوان عملکرد سیستم کنترلی را ارزیابی کرد.

CPA در حدود ۲۰ سال پیش و با تحقیقات انجام شده توسط Harris [18] در سال ۱۹۸۹ رشد یافت. از این رو می‌توان آن را زمینه‌ای جدید برای تحقیقات دانست که در چند سال گذشته مورد بررسی محققین فراوانی بوده است. گواه این ادعا، برگزاری کنفرانس‌های فراوان در طی سال‌های گذشته است که تمامی جلسات و کارگاه‌های آن‌ها تحت عنوان CPA برگزار شده‌اند[۵].

بخش عمده ای از سیستم های صنعتی را سیستم های چندمتغیره[۶] تشکیل می دهند. طراحی کنترل کننده برای چنین سیستم های چند ورودی – چند خروجی[۷] (MIMO)، به دو صورت متمرکز[۸]

[1] Monitoring
[2] Assessment
[3] Control Performance Assessment
[4] online
[5] American Control Conference 2000, Chemical Process Control Conference 2001, European Control Conference 2001, IFAC World Congress 2002, Control 2004, etc.
[6] Multivariable
[7] Multi Input – Multi Output

(کنترل کننده های چندمتغیره) و غیرمتمرکز[9] (کنترل کننده های تک متغیره[10]) انجام می شود. یکی از مشکلات رایج در بکارگیری سیستم های چندمتغیره، مساله تداخل است. در چنین سیستم هایی، عموما هر ورودی بر روی تمامی خروجی ها اثرگذار بوده و لذا نمی توان یک حلقه کنترلی را به راحتی به شکل یک سیستم تک ورودی – تک خروجی[11] (SISO) درنظر گرفت. اما در صورتیکه تداخل بین بعضی از حلقه ها با یکدیگر، ناچیز باشد، استفاده از یک کنترل کننده بلوکی قطری[12] می تواند پیچیدگی های یک کنترل کننده متمرکز را کاهش داده و عملکرد حلقه بسته را بهبود بخشد. یافتن چنین حلقه هایی که اثر تداخل آن ها بر روی سایر حلقه ها قابل چشم پوشی باشد، نیازمند به کارگیری روش هایی است که هر کدام دارای مزایا و معایبی هستند. اولین تلاش ها در این زمینه در سال ۱۹۶۶ توسط بریستول انجام شد. روش وی به نام آرایه بهره نسبی[13] (RGA)، یکی از مهمترین و کاربردی ترین روش های جفت سازی می باشد.

در این پایان نامه، استفاده از روش های پایش عملکرد کنترلی به عنوان روشی در جفت سازی ورودی – خروجی سیستم های چندمتغیره توضیح داده شده است. همچنین معیار Harris به عنوان یک شاخص پرکاربرد در صنعت بر مبنای واریانس یا کواریانس داده های خروجی به کار گرفته شده و از کنترل کننده غیرمتمرکز مینیمم واریانس به دلیل ارتباط نزدیک با مفهوم حداقل سازی واریانس خروجی، استفاده خواهد شد.

ساختار پایان نامه حاضر به این شرح است: در فصل اول، به معرفی برخی از مقدمات و پیش زمینه های مورد نیاز برای ورود به فصل های بعد پرداخته شده است. فصل دوم، شامل معرفی تعدادی از روش های متنوع پایش عملکرد کنترلی می باشد. در فصل سوم، ایده اصلی به کارگیری معیار های CPA در جفت سازی ورودی – خروجی شرح داده شده است. با ارائه چند مثال در فصل چهارم، این ایده را بیشتر بررسی خواهیم کرد. فصل پنجم نیز به بیان نتایج بدست آمده و ارائه پیشنهاداتی برای تلاش های آینده اختصاص یافته است.

---

[8] Centralized
[9] Decentralized
[10] Univariate
[11] Single Input – Single Output
[12] Block Diagonal Controller
[13] Relative Gain Array

فصل اول:

مفاهیم و تعاریف اولیه

کنترل کننده های متمرکز هنوز در مباحث تئوری مورد توجه و مطالعه فراوان هستند، اما محاسن کنترل کننده های غیرمتمرکز از جمله درک آسان، سادگی طراحی و تنظیم، هزینه کم نگهداری و نیز مقاومت در برابر خرابی ها، دلیل استفاده گسترده از این نوع کنترل کننده ها در صنعت می باشد. انتظار می رود یک کنترل کننده غیرمتمرکز بتواند در کنار داشتن فواید ذکر شده، رفتار حلقه را به سمت رفتار مطلوب سوق دهد. بنابراین لازم است تا انتخاب پیکربندی کنترل[۱۴] یا به عبارت دیگر، انتخاب جفت مناسب ورودی – خروجی به نحو مناسبی صورت پذیرد. این بخش، اولین مرحله در ارائه یک کنترل کننده غیرمتمرکز است که دقت در آن می تواند منجر به طراحی کنترل کننده ساده تر و همچنین رفتار حلقه بسته بهتر شود و بالعکس، جفت سازی نامناسب می تواند سیستم حلقه بسته را دچار ناپایداری کند. بخش دوم، طراحی کنترل کننده[۱۵] غیرمتمرکز است که پس از تعیین جفت های مناسب ورودی – خروجی، برای زیرسیستم های مشخص شده طراحی کنترل کننده صورت می گیرد.

در این فصل و در بخش اول، بعضی از روش های انتخاب جفت های ورودی – خروجی را معرفی می کنیم. مرجع [1] شامل اطلاعات کاملی از روش های موجود است. در بخش دوم، روش طراحی کنترل کننده مینیمم واریانس[۱۶] (MVC) را که در این پایان نامه کاربرد دارد، ارائه خواهیم کرد.

۱-۱- جفت سازی ورودی – خروجی

همانگونه که ذکر شد، انتخاب مناسب جفت های ورودی – خروجی در عملکرد کنترل کننده غیرمتمرکز طراحی شده بسیار مؤثر خواهد بود. جفت های ورودی – خروجی باید به نحوی انتخاب شوند که هر ورودی بر خروجی متناظرش بیشترین تاثیر را داشته و نیز اثر تداخل حلقه ها نسبت به یکدیگر ناچیز باشد.

[14] Control Configuration Selection
[15] Controller Design
[16] Minimum Variance Controller

برای شروع، ابتدا لازم است به معرفی یک شاخص مفید به نام شاخص نیدرلینسکی[۱۷] بپردازیم. این معیار، پایداری سیستم را با باز شدن یک یا تعدادی از حلقه های کنترلی بررسی می کند و از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$NI\left[G(0)\right]=\frac{\det\left[G(0)\right]}{\prod_{i=1}^{n} g_{ii}(0)} \qquad (۱-۱)$$

اگر مقدار این شاخص مثبت باشد، سیستم نسبت به خرابی حلقه های کنترل مقاوم است. انتخاب جفت هایی از ورودی-خروجی که منجر به شاخص نیدرلینسکی منفی شوند، نامطلوب است.

۱-۱-۱- آرایه بهره نسبی [1] و [33]

آرایه بهره نسبی به عنوان اولین روش سیستماتیک برای ارزیابی تداخل در سیستم های چندمتغیره و ابزاری جهت جفت سازی ورودی-خروجی مورد استفاده قرار گرفته است. این روش که توسط بریستول در سال ۱۹۶۶ معرفی شد، نسبت بهره حلقه باز یک جفت ورودی-خروجی را به بهره بین این دو زمانی که سایر خروجی ها تحت کنترل محکم[۱۸] باشند بیان می کند. روشی که در ابتدا توسط بریستول با نام RGA معرفی شد، تنها نیازمند مقادیر حالت ماندگار (پاسخ پله) سیستم $G(0)$ بود. این تعریف با توجه به آنکه فرض کنترل محکم در فرکانس صفر در صورت بکارگیری کنترل انتگرالی در حلقه، فرض معتبری است و بدست آوردن مقدار حالت ماندگار حتی برای سیستم های پیچیده، به سادگی قابل دستیابی است، قابل قبول می باشد. هرچند محاسبه آن در فرکانس پهنای باند، نتایج بهتری را ارائه خواهد کرد.

سیستم چندمتغیره $n\times n$ به شکل زیر را در نظر می گیریم:

$$G(s)=\left[g_{ij}(s)\right] \quad i,j=1,\ldots,n \qquad (۲-۱)$$

که در آن $g_{ij}(s)$ بیانگر بهره حلقه باز سیستم از iامین خروجی به jامین ورودی است. فرض کنید تمامی خروجی های سیستم به جز خروجی iام را تحت کنترل محکم قرار داده و بهره iامین خروجی

[17] Niederlinski Index
[18] Tight control