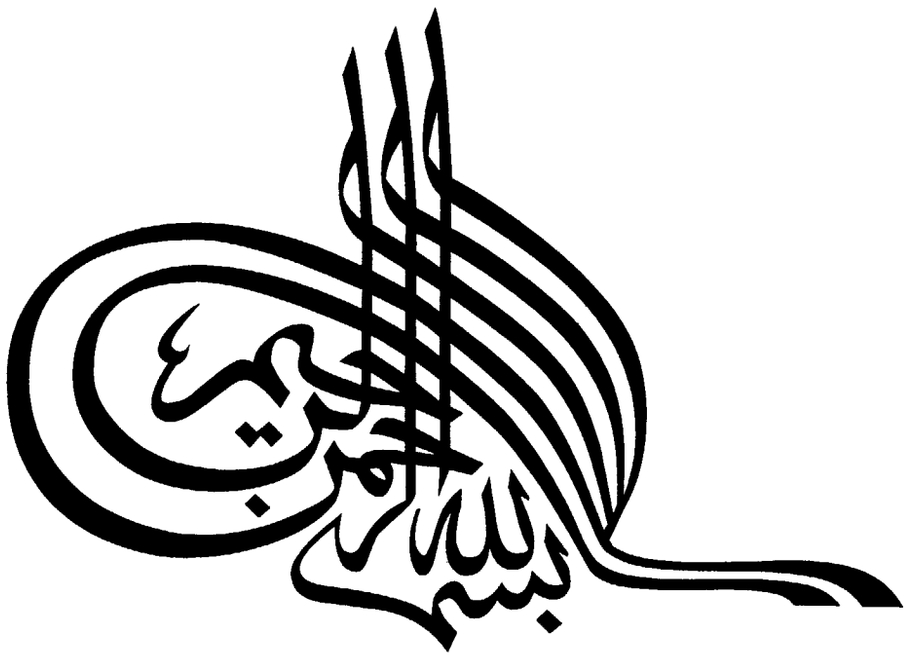
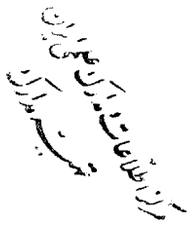
مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



٤٠١٠١

۱۳۸۱ /۴/ ۲۶



۱۳۸۱ /۴/ ۲۶

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

کنترل سرعت یک سرودرایو القایی بر پایه خطی سازی با فیدبک با تخمین پارامترهای سیستم

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق (کنترل)

نوید رضا ابجدی

استاد راهنما

دکتر جعفر سلطانی

۱۳۸۰

٤٠٨٠١

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق (کنترل) آقای نوید رضا ابجدی

تحت عنوان

کنترل سرعت یک سرودرایو القایی بر پایه خطی سازی با فیدبک با تخمین پارامترهای سیستم

۱۰۸۰۱

در تاریخ ۸۰/۱۲/۱۳ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه — دکتر جعفر سلطانی

۲- استاد مشاور پایان نامه — دکتر جواد عسگری

۳- استاد داور — دکتر علیرضا بخشایی

٤- استاد داور — دکتر فرید شیخ الاسلام

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده — دکتر علی محمد دوست حسینی

تشکر و قدردانی:

از جناب آقای دکتر جعفر سلطانی که در تمامی مراحل انجام این پروژه بطور شبانه روزی از راهنمائیها و حمایت بی دریغ و صمیمانه ایشان برخوردار بودم کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از جناب آقای دکتر جواد عسگری که مشاوره این پایان نامه را به عهده گرفتند و راهنمائیهای ایشان برای جلسه سمینار پایان نامه سپاسگزاری می نمایم.

از آقایان دکتر بخشایی و دکتر شیخ الاسلام که داوری این پایان نامه را تقبل فرمودند، کمال تشکر را دارم.

از تمامی دوستان که در جلسه ارائه سمینار پایان نامه شرکت کردند تشکر می نمایم و سعادت همگی را در کلیه مراحل زندگی از خداوند متعال خواستارم.

همچنین در پایان از یکایک افراد خانواده ام که در طول دوران تحصیل و انجام این پایان نامه همواره مشوق و پشتیبان من بودند تشکر می کنم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان
است.

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
کتابخانه مرکزی

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب.....هشت

چکیده.....۱

فصل اول: مقدمه.....۲

۱-۱-تاریخچه.....۲

۱-۲-کلیات.....٤

۱-۳-ترتیب ارائه مطالب.....۸

فصل دوم: تئوری خطی سازی با فیدبک.....۹

۲-۱-مقدمه.....۹

۲-۲-خطی سازی ورودی-حالت.....۱۰

۲-۳- خطی سازی ورودی-خروجی.....۱۰

۲-۳-۱- خطی سازی ورودی-خروجی سیستمهای تک ورودی-تک خروجی.....۱۵

۲-۳-۲- خطی سازی ورودی-خروجی سیستمهای چند ورودی-چند خروجی.....۱۹

عنوان **صفحه**

فصل سوم: تخمین پارامتر..... ۲٤

۳-۱-مقدمه..... ۲٤

۳-۲-روش حداقل مربعات بازگشتی..... ۲۵

۳-۲-۱- حل مساله حداقل مربعات بازگشتی..... ۲۵

۳-۲-۲- روش حداقل مربعات بازگشتی..... ۲۷

۳-۲-۳- حداقل مربعات بازگشتی و پارامترهای متغیر با زمان..... ۲۹

۳-۳-روش سیستم تطبیقی مدل مرجع..... ۳۰

فصل چهارم: کنترل تطبیقی سرعت یک سرودرایو القایی

بر پایه تئوری خطی سازی با فیدبک..... ۳۲

٤-۱-معادلات دینامیکی موتور القایی سه فاز..... ۳۲

٤-۲-بکار گیری روش خطی سازی برای موتور القایی..... ۳۵

٤-۳-مقایسه ای بین خطی سازی با فیدبک موتور القایی و کنترل برداری مستقیم..... ٤۱

٤-٤-تخمین ثابت زمانی مدار روتور..... ٤۲

٤-۵-کنترل کننده های سرعت..... ٤۷

٤-۵-۱- کنترل کننده های سرعت PI و IP..... ٤۷

٤-۵-۲- کنترل کننده های سرعت مقاوم..... ٤۹

٤-۵-۲-الف- یک کنترل کننده های سرعت مقاوم

با بکارگیری یک کنترل کننده پیش تغذیه..... ٤۹

٤-۵-۲-ب- کنترل کننده سرعت لغزشی..... ۵٤

٤-٦-تخمین سرعت..... ۵٦

عنوان **صفحه**

فصل پنجم: شبیه سازی کامپیوتری..... ٦١

٥-١-مقدمه..... ٦١

٥-٢-کنترل سرعت یک سرودرایو القایی بر پایه خطی سازی با فیدبک

و تخمین همزمان ثابت زمانی و پارامترهای مکانیکی روتور..... ٦٢

٥-٣-کنترل سرعت یک سرودرایو القایی بر پایه خطی سازی با فیدبک

با بکارگیری یک کنترل کننده لغزشی اصلاح شده..... ٨١

٥-٤-کنترل سرعت یک سرودرایو القایی بر پایه خطی سازی با فیدبک

بدون استفاده از سنسور سرعت..... ٨٤

٥-٥-کنترل سرعت یک سرودرایو القایی بر پایه خطی سازی با فیدبک

با بکارگیری یک اینورتر PWM منبع ولتاژ کنترل شونده با جریان..... ٨٧

٥-٦-کنترل سرعت یک سرودرایو القایی بر پایه خطی سازی با فیدبک

با بکارگیری یک اینورتر PWM منبع جریان ذوزنقه ای..... ٩٥

فصل ششم: نتیجه گیری و طرح پیشنهادات..... ١٠١

٦-١-نتیجه گیری..... ١٠١

٦-٢-طرح پیشنهادات..... ١٠٢

پیوست: روش رانگ-کوتا مرتبه چهار استاتیکی..... ١٠٣

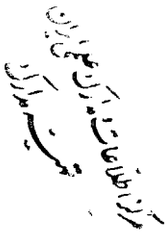
مراجع..... ١٠٤

چکیده

تاکنون از سرودرایوهای القایی در صنایع گوناگون، جهت کنترل موقعیت و سرعت در سطح وسیعی استفاده شده است. در این پایان نامه بر پایه تئوری خطی سازی با فیدبک، با بکارگیری یک کنترل کننده انتگرال گیر- تناسبی خاص در ترکیب با یک کنترل کننده پیش تغذیه، سرعت یک سرودرایو القایی توان پایین کنترل می شود. این کنترل کننده از خطای ماندگار صفر و تنظیم کنندگی بالایی برخوردار است. با معرفی دو متغیر ورودی جدید، دینامیک گشتاور الکترومغناطیسی و شاردور مغناطیسی روتور درست مانند یک درایو جریان مستقیم تحریک جداگانه، بطور مستقل از هم کنترل می شوند. برای تطبیقی نمودن سیستم کنترل درایو، بطور همزمان و بهنگام، ثابت زمانی مدار الکتریکی و نیز پارامترهای مکانیکی روتور تخمین زده می شوند. از روشهای سیستم تطبیقی مدل مرجع و حداقل مربعات بازگشتی، به ترتیب جهت تخمین بهنگام ثابت زمانی و پارامترهای مکانیکی روتور استفاده شده است.

فصل اول

مقدمه



۱-۱- تاریخچه

در سال ۱۹۲۲ میلادی مینورسکی[1] سرومکانیزمها را برای هدایت یک کشتی ابداع کرد، یک سرومکانیزم عبارت است از یک سیستم کنترل با پسخور که خروجی آن موقعیت، سرعت و یا شتاب است این واژه اولین بار در سال ۱۹۳٤ توسط هازن[2] مطرح شد [۱].

مدتهاست که در بسیاری از کاربردها به دلیل کارایی بهتر از موتورهای الکتریکی برای کنترل سرعت یا موقعیت استفاده می شود که به آنها سرودرایو می گویند. تا قبل از ۱۹۵۰ تنها از موتورهای DC برای این منظور استفاده می شد زیرا این موتورها از دقت بالایی برخودارند و کنترل آنها نیز به سادگی امکان پذیر است با این حال موتورهای DC معایبی نیز دارند که مهمترین آنها عبارت است از: احتیاج به تعمیر و سرویس دهی مکرر، حجم و وزن زیاد، عمر کوتاه، قیمت بالا و محدودیت کاری در سرعت و توانهای بالا [۲].

موتورهایی القایی معایب فوق را ندارند و از بازده و محدوده سرعت بالاتری برخوردارند ولی در عوض دینامیک پیچیده ای داشته که کنترل آنها را دشوار می سازد. در سال ۱۹٦۹ محقق آلمانی هس[3] در

---

[1] Minorsky
[2] Hazen
[3] Hasse

رساله دکترای خویش روش کنترل برداری غیر مستقیم را مطرح کرد که به کمک آن کنترل موتور القایی مشابه کنترل یک موتور DC تحریک جداگانه امکان پذیر می گشت. پس از آن در سال ۱۹۷۲ روش کنترل برداری مستقیم توسط بلاشک[1] ابداع گردید [۳].

روشهای کنترل برداری غیر مستقیم و مستقیم با تعریف یک دستگاه مختصات جدید که با سرعت سنکرون می چرخد دینامیک گشتاور تولیدی ماشین را از دینامیک شار مجزا می سازند بطوریکه از طریق دو حلقه کنترلی جداگانه می توان گشتاور و شار را کنترل نمود. تفاوت این دو روش در این است که در روش مستقیم بر خلاف روش غیرمستقیم، مولفه های دومحوری شار یا به وسیله سنسور اندازه گیری می شوند و یا از طریق محاسبه تخمین زده می شوند در صورتی که در روش غیرمستقیم نیازی به مولفه های شار نمی باشد. روش کنترل برداری غیر مستقیم نسبت به تغییرات ثابت زمانی مدار روتور و همچنین نسبت به دقت سرعت اندازه گیری یا تخمین زده شده روتور بسیار حساس است ولی پیاده سازی آن از روش مستقیم ساده تر است [۳].

ظهور و ورود میکروپروسسورها در دهه ۱۹۷۰ همراه با توسعه عناصر نیمه هادی و پیشرفت الگوریتمهای کنترل باعث شد که کنترل برداری از دهه ۱۹۸۰ به طور فزاینده ای مورد قبول واقع شود.
در دهه اخیر روشهای متعدد دیگری نیز برای کنترل سرعت یا موقعیت موتورهای القایی مطرح شده اند که از مهمترین آنها می توان به استفاده از تئوری خطی سازی با فیدبک اشاره کرد [٤،٥و٦].

کلیه روشهای کنترل موتور القایی فوق نسبت به تغییر پارامترهای ماشین و نامعینی در آنها و همچنین اغتشاشات موجود در بار مکانیکی حساس هستند در بیست ساله اخیر با بکارگیری روشهای کنترل هوشمند نظیر کنترل فازی و شبکه های عصبی، کنترل حالت لغزشی[2] سعی شده است که رفتار سرودرایوها نسبت به این تغییرات و نامعینی ها مقاوم گردد و یا با تخمین این پارامترها و استفاده از آنها در سیستم کنترل، کنترل کننده نسبت به شرایط کاری مختلف تطبیق داده شود [٦،٧و٨].
جدول (۱-۱) از دیدگاههای مختلف به مقایسه چند روش کنترل هوشمند، لغزشی و تطبیقی با کنترل کننده PI برای یک سرو درایو می پردازد [۹]. این جدول اهمیت کنترل کننده های PI را علی رغم سادگی نمایان می سازد.

---

[1] Blaschke
[2] sliding mode control

جدول (۱-۱) مقایسه چند روش کنترل یک سرو درایو

کنترل کننده لغزشی-فازی- تطبیقی	کنترل کننده لغزشی-فازی	کنترل کننده مد لغزشی	کنترل کننده PI	کنترل کننده / معیار
بله	بله	بله	بله	همگرایی خطای تعقیب به سمت صفر
خوب	خوب	خوب	ضعیف	مقاوم بودن نسبت به تغییر پارامترها و اغتشاش
متوسط	متوسط	بزرگ	کوچک	دامنه سیگنال کنترل
کوچک	متوسط	بزرگ	خیر	پدیده شوریدگی[1] در سیگنال کنترل

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

۱-۲- کلیات

برای ساده سازی دینامیک غیرخطی نسبتا پیچیده موتورهای القایی به نظر می رسد که بایستی مولفه ها و جملات غیرخطی که در معادلات دینامیکی این ماشینها وجود دارد و همچنین وابستگی موجود بین این معادلات به نحوی حذف گردد. این مهم با تعریف متغیرهای ورودی جدید و یا با تعریف متغیرهای حالت جدید امکان پذیر است. در هر حال برای تحقق سیستم کنترل احتیاج به فیدبک حالت یا حالتهایی از سیستم تحت کنترل می باشد به این عمل خطی سازی با فیدبک می گویند.

از دیدگاه کنترل غیر خطی روشهای خطی سازی با فیدبک به دو دسته خطی سازی ورودی-خروجی و خطی سازی ورودی-حالت تقسیم می شوند. روش خطی سازی ورودی-خروجی سیستم تحت کنترل را تنها از دید ورودی و خروجی خطی می کند در حا لیکه روش خطی سازی ورودی-حالت سیستم تحت کنترل را نسبت به تمام حالتها خطی می سازد بنابراین هر یک از حالتهای سیستم قابل کنترل خواهد بود و پایداری

[1] chattering

کل سیستم نیز به سادگی قابل بررسی است ولی پیاده سازی آن پیچیده تر است و در بعضی مواقع امکان پذیر نیست. در مقابل پیاده سازی روش خطی سازی ورودی-خروجی ساده تر است و برای بسیاری از سیستمهای کنترل امکان پذیر است ولی به دلیل این که در این روش سیستم تنها از دید ورودی و خروجی خطی سازی شده است لذا دارای یک دینامیک داخلی غیر خطی است که ممکن است بعلت افزایش نا محدود سیگنالهای داخلی، منجر به ناپایداری کل سیستم گردد [۱۰].

در این پایان نامه هدف بکارگیری روش خطی سازی ورودی-خروجی، که از این به بعد آنرا خطی سازی با فیدبک می نامیم، برای کنترل سرعت حلقه بسته سرودرایوهای القایی می باشد. این خطی سازی بر روی معادلات ماشین القایی در دستگاه مختصات مرجع دو محوری روتور به اجرا در می آید و از این رو نیاز به شارهای دومحوری روتور در دستگاه مختصات مذکور می باشد، این شارها توسط یک مشاهده گر شار تخمین و در اختیار سیستم کنترل سرودرایو قرار می گیرند.

در مقایسه روش خطی سازی با فیدبک، با روش کنترل برداری در مختصات مرجع امتداد یابی شاردور روتور درایوهای القایی، می توان به مشابهت جدا سازی دینامیک گشتاور و اندازه شار روتور در هر دو روش اشاره کرد. خطی سازی با فیدبک با روش کنترل برداری مستقیم بیشتر شباهت دارد زیرا در هر دو روش مولفه های شار روتور تخمین زده می شوند. تفاوت اساسی روش خطی سازی با فیدبک، با کنترل برداری در آن است که روش اول در اصل مانند یک روش کنترل اسکالر ($\frac{V}{f}$ ثابت) می باشد به طوریکه بدون آنکه نیازی به امتدادیابی بردارهای مغناطیسی در ماشین باشد خواص روشهای کنترل برداری را داراست.

مزایای دیگری که می توان برای روش خطی سازی با فیدبک نسبت به روش کنترل برداری برشمرد عبارتند از:

- با توجه به این که روش خطی سازی با فیدبک بر پایه کنترل غیر خطی می باشد بنابراین ضمن آنکه از پایه تئوری بسیار محکمی برخوردار است، بررسی پایداری و کارآیی آن نیز به صورت اصولی امکان پذیر می باشد به طوریکه بخوبی می توان در آن از نتایج کنترل غیر خطی بهره جست.
- از ساختار ساده تری برخوردار است و برخلاف کنترل برداری نیازی به امتدادیابی بردارها و یا انتقال متغیرها به یک دستگاه مختصات مرجع دیگر ندارد.
- کنترل برداری الزاما در یکی از دستگاههای مختصات مرجع شاردور روتور، شاردور استاتور و یا منتجه به اجرا در می آید، در حالیکه روش خطی سازی با فیدبک در دستگاه مختصات مرجع روتور پیاده سازی می شود از این رو تخمین پارامترها نظیر ثابت زمانی مدار روتور و تخمین سرعت

روتور در این روش آسانتر از روش کنترل برداری است زیرا ضرورتی به انتقال لحظه به لحظه متغیرهای ماشین از دستگاه مختصات مرجع روتور به دستگاه مختصات مرجع ساکن استاتور نمی باشد.

در زمینه خطی سازی با فیدبک موتورهای القایی، در مقایسه با روشهای کنترل برداری این درایوها کارهای تحقیقاتی کمتری گزارش و منتشر شده است. از عمده ترین کارهایی که برای مقاوم نمودن رفتار سرودرایوها بر پایه روش خطی سازی با فیدبک در برابر تغییر پارامترها و اغتشاشات بار انجام شده است می توان به روش کنترل لغزشی اشاره نمود [۵ و۶]. در طراحی این کنترل کننده های لغزشی باید حد بالا و پایین عدم قطعیتها از پیش مشخص باشد و از طرفی این کنترل کننده ها با پدیده ای موسوم به شوریدگی، که عبارت است از فعالیت یا نوسان شدید سیگنال کنترل، مواجه می باشند این پدیده در بعضی مواقع باعث تحریک دینامیکهای مدل نشده سیستم شده به طوریکه ممکن است کل سیستم کنترل درایو را ناپایدار سازد. تاکنون برای حل این مشکل راه کارهایی ارائه شده است که از آن جمله می توان به استفاده از یک لایه مرزی حول سطح کلیدزنی اشاره کرد [۱۰]، با این حال در بسیاری از موارد به ناچار باید لایه مرزی بزرگی انتخاب شود که باعث ظاهر شدن یک خطای ماندگار و یا کند شدن پاسخ سیستم کنترل سرودرایو می گردد.

یکی از روشهای تطبیقی نمودن رفتار سرودرایوها نسبت به نامعینی یا تغییر پارامترها، تخمین بهنگام[1] این پارامترها و استفاده از این مقادیر تخمینی در سیستم کنترل ماشین می باشد به نحوی که سیستم کنترل بتواند خود را با شرایط جدید وفق دهد به طوریکه سیستم کارآیی اولیه خود را حفظ کند. با استفاده از این راه کار در زمینه کنترل برداری سرودرایوهای القایی تحقیقات شایان توجهی صورت گرفته است [۸،۱۱]، ولی در زمینه بکارگیری روش خطی سازی با فیدبک بر اساس کاوشهایی که انجام شد گزارشات و یا مقالات تحقیقاتی منتشر نشده است.

در این پایان نامه برای افزایش کارآیی روش خطی سازی با فیدبک، ثابت زمانی مدار روتور بر پایه سیستم تطبیقی مدل مرجع بطور بهنگام تخمین و در اختیار مشاهده گر شار قرار داده می شود زیرا این پارامتر به طور مستقیم در دینامیک مشاهده گر شار ظاهر می شود و بر عملکرد آن تاثیرات محسوسی دارد به نحوی که خطای موجود در ثابت زمانی مدار روتور باعث خطا در تخمین مولفه های شار مغناطیسی روتور گردیده و در نتیجه ممکن است فرآیند خطی سازی و جداسازی دینامیکهای گشتاور و شار در ماشین مختل شوند.

---

[1] on-line