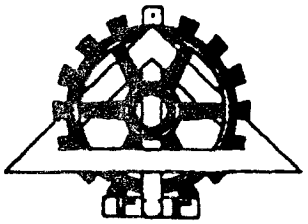

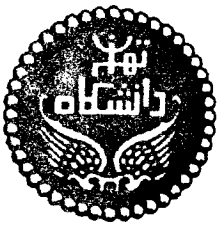

دانشگاه تهران

دانشکده فنی

گروه مهندسی برق و کامپیوتر

۱۳۸۱ /۸/ ۲۰

وزارت اطلاعات و ارتباطات جمهوری اسلامی ایران

عنوان :

طراحی محرکه موتور سوئیچ رلوکتانس به منظور استفاده در فرمان برقی

توسط :

صالح تابنده

استاد راهنما :

آقای دکتر شاهرخ فرهنگی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته

قدرت

۴۲۶۳۳

تابستان ۱۳۸۱

موضوع :

طراحی محرکه موتور سوئیچ رلوکتانس به منظور استفاده در فرمان برقی

نگارش : **صالح تابنده**

از این پایاننامه در تاریخ ۸۱/۶/۲۴ در مقابل هیأت داوران دفاع به عمل آمد و مورد تصویب قرار گرفت.

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده فنی : دکتر محمد علی بنی هاشمی
مدیر گروه آموزشی : دکتر محمود کمره ای
سرپرست تحصیلات تکمیلی گروه : دکتر جواد فیض
استاد راهنما : دکتر شاهرخ فرهنگی
عضو هیأت داوران : دکتر جواد فیض
عضو هیأت داوران : دکتر کارولوکس
عضو هیأت داوران : دکتر جواد شکراللهی مغانی

٤٢٤٣٣

تقدیم به :

پدر و مادرم

که همواره، در تمام مراحل زندگی ام یار و پشتیبان من بوده اند و در راه تحصیل و رشد من از هیچ کوششی دریغ نکردند.

از زحمات آقای دکتر فرهنگی استاد راهنمای اینجانب بدلیل راهنماییهای فـراوان و مفید و روحیه محققانه ایشان تشکر می کنم.

همچنین از آقای دکتر فیض بدلیل دقت نظر ایشان کمال تشکر را دارم.

در انتها لازم است از خانم دانشیان در دفتر تحصیلات تکمیلی و خانم دسـتمالچی در دفتر آموزش به دلیل همکاریهای ایشان تشکر کنم.

فهرست مطالب

صفحه

عناوین

چکیده (فارسی) vi

چکیده (انگلیسی) vii

مقدمه viii

فصل اول : مقدمه‌ای در مورد موتورهای SR ۱

۱-۱) ساختمان موتور SR و روشهای تولید گشتاور ۲

۱-۱-۱) عملکرد در ناحیه خطی ۳

۱-۱-۲) عملکرد در ناحیه اشباع ۷

۱-۲) مدارهای اینورتر ۹

۱-۳) مشخصه گشتاور- سرعت ۱۱

۱-۴) مدلسازی موتورهای SR ۱۲

۱-۴-۱) مدلسازی الکتریکی موتور SR ۱۲

۱-۴-۲) مدلسازی اندوکتانس موتور SR ۱۴

۱-۵) روشهای بدست آوردن پارامترهای موتور SR ۱۵

۱-۵-۱) روش اندوکتانس استاتیکی ۱۶

۱-۵-۲) روش جمع آثار برای فرکانسهای بالا ۱۶

۱-۵-۳) روش شاردور ۱۷

فصل دوم : مروری بر منابع ۱۸

۲-۱) کنترل موتورSR ۱۹

مرکز اطلاعات مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

عناوین | صفحه

۲-۱-۱) مقدمه ۱۹

۲-۱-۲) الگوریتمهای کنترل در موتورهای SR ۱۹

۲-۱-۳) روش تعریف کانتور گشتاور ۲۵

۲-۱-۴) نتیجه گیری ۲۸

۲-۲) روشهای بدون حسگر ۲۸

۲-۲-۱) مقدمه ۲۸

۲-۲-۲) توضیح تعدادی از روش‌های بدون حس گر ۳۱

۲-۲-۲-۱) روشهای بدون حسگر در سرعتهای خیلی کم ۳۱

۲-۲-۲-۲) روشهای بدون حسگر در سرعتهای کم ۳۵

۲-۲-۳) نتیجه گیری ۳۷

فصل سوم : شبیه سازی و بهینه سازی موتور و مبدل الکترونیک قدرت ۳۹

۳-۱) مقدمه ۴۰

۳-۲) مشخصات موتور مورد آزمایش ۴۰

۳-۳) شبیه سازی وبهینه سازی مبدل الکترونیک قدرت ۴۲

۳-۳-۱)مدلسازی موتور SR در محیط spice ۴۳

۳-۳-۲) مدلسازی اینورتر در محیط Spice ۴۵

۳-۳-۳) روشهای کلید زنی ۴۶

۳-۳-۴) شبیه سازی ۴۷

۳-۳-۵) مقایسه نتایج ۵۵

۳-۴) شبیه‌سازی موتور و مبدل الکترونیک قدرت

با کنترل هیسترزیس در محیط Simulink-Matlab ۵۶

عناوین | صفحه

۳-۴-۱) شبیه سازی موتور ۵۷
۳-۴-۲) شبیه سازی اینورتر ۶۰
۳-۵) نتیجه‌گیری ۶۰

فصل چهارم : روشهای حداقل نمودن ریپل گشتاور ۶۶

۴- ۱) مقدمه ۶۷
۴-۲) روش Balanced commutator ۶۸
۴-۲-۱) تعریفهای روش Balanced Commutator ۶۹
۴-۲-۲) الگوریتم روش Balanced Commutation ۷۲
۴-۳) روش High Grade Control ۷۵
۴-۳-۱) اصول روش High Grade Control ۷۶
۴-۳-۲) جزئیات روش High Grade Control ۷۹
۴-۴) شبیه‌سازی الگوریتمهای حداقل کردن ریپل گشتاور درMatlab ۸۱
۴-۴-۱) محاسبه θ_c ۸۱
۴-۴-۲) شبیه سازی روش Balanced cammutator ۸۳
۴-۴-۲-۱) پیاده سازی مدل ۸۳
۴-۴-۲-۲) روش کنترل با دو باند هیسترزیس ۸۷
۴-۴-۲-۳) نتایج شبیه سازی ۹۱
۴-۴-۳) شبیه سازی روش High Grade ۹۶
۴-۴-۴) مقایسه دو روش Balanced Commutator و High Grade ۹۸
۴-۵) نتیجه گیری ۱۰۰

عناوین | صفحه

فصل پنجم : روشهای بدون حسگر و شبیه‌سازی آن..... ۱۰۱

۵-۱) مقدمه..... ۱۰۲

۵-۲) مطالعه شرایط لازم برای تخمین‌گر موقعیت..... ۱۰۲

۵-۲-۱) روابط ریاضی روش شکل موج مربعی..... ۱۰۴

۵-۲-۲) محدودیتهای ناشی از کنترل موقعیت..... ۱۰۵

۵-۲-۳) روش محاسبه ماتریس $\theta(L_{inc}, i)$ ۱۰۸

۵-۳) شبیه‌سازی روش بدون حس‌گر با اعمال شکل موج مربعی ۱۱۰

۵-۴) نتیجه‌گیری..... ۱۱۵

فصل ششم : سیستم کنترل موقعیت موتور SR بدون سنسور موقعیت..... ۱۱۸

۶-۱) مقدمه..... ۱۱۹

۶-۲) شبیه سازی سیستم کنترل موقعیت با حسگر ۱۱۹

۶-۳) موانع کنترل موقعیت بدون استفاده از حسگر موقعیت..... ۱۲۱

۶-۴) تئوری روش شمارنده فاز برای موتورهای SR ۱۲۴

۶-۴-۱) محاسبه زاویه فاز مرجع با زاویه تخمین زده شده در فازهای دیگر ۱۲۴

۶-۴-۲) تعیین زاویه روتور از روی θ_1 با استفاده از روش شمارنده هدایت فازها ۱۲۶

۶-۴-۳) تاثیر جهت گشتاور بر تعیین زاویه..... ۱۲۹

۶-۵) تئوری روش شمارنده فاز برای موتورهای SR 8:6 ..... ۱۳۰

۶-۶) شبیه سازی ۱۳۳

۶-۷) نتایج ۱۳۸

عناوین | صفحه

۶-۷-۱) نتایج سیستم تخمین گر زاویه روتور و شمارنده هدایت فاز ۱۳۸
۶-۷-۲) نتایج کنترل موقعیت ۱۴۱
۶-۷-۳) مقایسه ۱۴۵
۶-۸) نتیجه گیری ۱۴۷
فصل هفتم : نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۴۹
مراجع ۱۵۳

چکیده

در این پایان نامه استفاده از موتورهای SR به عنوان محرکه فرمان برقی در اتومبیل مورد بررسی قرار گرفته است. شرایط خاص این کاربرد روشی از کنترل را طلب می کند که در آن تلفات، ریپل گشتاور تولیدی موتور و هزینه ساخت و نگهداری حداقل شود. از اینرو روشهای بدون حسگر موقعیت به دلیل پایین بودن هزینه ساخت و نگهداری مطلوب می باشند. بنابراین هدف این پروژه طراحی سیستم کنترل موقعیت موتور SR بدون استفاده از حسگر موقعیت، با کمترین تلفات و ریپل گشتاور می باشد.

برای رسیدن به هدف پایاننامه روش کنترل گشتاور Balanced Commutator با سایر روشهای موجود مقایسه و امتیازات آنها مشخص گشته است، و برای تطبیق با نیازها تغییراتی در آن اعمال شده است. از آنجاییکه روش بدون حسگر انتخاب شده برای یک سیستم کنترل موقعیت است تغییراتی در آن داده شده است. سرانجام روشی پیشنهاد شده است که اطلاعات خام بدست آمده از روشهای بدون حسگر را که فقط برای کموتاسیون مناسب هستند تبدیل به زاویه مورد نیاز در کنترل موقعیت کند .

Abstract

In this thesis use of Switched Reluctance (SR) Motors as Electrical Power Steering in Automobiles is discussed. The application requirments demand particular control strategies in which losses, torque ripple, maintenance and production costs are minimized. This leads to the application of sensorless techniques. Therefore the aim of this project is to design a sensorless position control scheme for the SR motor with the minimum produced loss and torque ripple.

To achieve this target, Balanced Commutator Torque control scheme is chosen after a comprehensive and quantitative comparison between the existing schemes. Some changes are made on Balanced Commutator scheme in order to make it more suitable to the application. The sensorless technique too is profiting from some changes for more compatibility to the project.

Sensorless techniques do not provide suitable information for position control; these data are just usable in commutation. Therefore, an algorithm for converting the sensorless output to the information required by position controller is introduced.

مقدمه

مقدمه

امروزه موتورهای Switched Reluctance (SR) به علت سادگی ساخت و مقاوم بودن، در برخی از کاربردها محبوبیت پیدا کرده اند. از جمله این موتور را می توان جایگزین سیستم فرمان هیدرولیک چرخهای وسیله نقلیه کرد [۲،۱]. در این کاربرد که به اختصار فرمان برقی نامیده می شود لازم است کنترل موقعیت روتور ماشین به شیوه ایی صورت بگیرد که در هر لحظه روتور با حداکثر گشتاور به سمت موقعیت مناسب خود حرکت کند.

از جمله دلایل توجه شرکتهای اتومبیل سازی بزرگ دنیا به جایگزینی سیستم های مکانیکی و هیدرولیکی با تجهیزات الکتریکی می توان به کاهش وزن و قیمت، و مصرف انرژی کمتر اشاره کرد.

سیستمهای فرمان هیدرولیک که عمدتاً در ماشینهای با قدرت بیش از متوسط بکار میروند گران، سنگین و با قابلیت اطمینان کم می باشند [۱] و با اتلاف انرژی و آلوده سازی محیط زیست همراه اند. به این دلیل در سالهای اخیر استفاده از فرمان برقی در خودروها مورد توجه قرار گرفته است و شرکتهای سازنده تجهیزات وسایط نقلیه از جمله TRW و Lucasvarity اقدام به طراحی چنین سیستمهایی کرده اند[۲].

با توجه به محیطی که سیستم فرمان برقی باید در آن عمل کند، این سیستم قابلیتهای ویژه ای نیاز دارد. محیط کار این سیستم که داخل موتور اتومبیل است در معرض انواع آلودگیهای گرد و خاک، روغن، آب باطری و پاشش آب قرار دارد و در ضمن این محیط در معرض لرزش زیاد است. از طرفی هزینه ساخت سیستم پیاده سازی شده باید بگونه ای باشد که استفاده از آن را به صورت انبوه امکان پذیر سازد و این نکته خود سادگی سیستم را طلب می کند. حسگرهای موقعیت که از اجزا اصلی موتورهای SR هستند هزینه زیاد و نیاز به تعمیرات و بازدیدهای دوره ای دارند و در عین حال نسبت به لرزش و انواع آلودگیها نیز بسیار حساسند، بنابراین استفاده از روشهای بدون حسگر در سیستم مورد نظر اجتناب ناپذیر به نظر

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

می رسد. الگوریتمهای بدون حسگر علاوه بر اینکه حساسیت چندانی نسبت به شرایط ذکر شده ندارند باعث کاهش حجم مورد نیاز برای موتور و محرکه نیز خواهند شد.

از جمله خصوصیات منفی موتورهای SR تولید ریپل گشتاور و نویز صوتی نسبتا زیاد آنهاست. ریپل گشتاور در فرمان برقی می تواند باعث غیر یکنواختی حرکت موتور و در نتیجه کاهش کنترل راننده بر روی اتومبیل شود. از طرفی با تمایل هرچه بیشتر شرکتهای سازنده اتومبیل به کاهش هرچه بیشتر صدای تولیدی آن، از بین بردن نویز صوتی اجتناب ناپذیر خواهد بود. بنابر این در فرمان برقی استفاده از الگوریتمهای حداقل سازی ریپل گشتاور و نویز صوتی لازم به نظر می رسد.

با توجه به مقدمه ذکرشده، این پایاننامه به صورت زیر نوشته شده است :

در فصل اول خلاصه ای از اصول تولید گشتاور در ناحیه کار خطی و اشباع موتور SR مطرح شده است. پس از بحث پیرامون مدارهای اینورتر و مشخصه گشتاور-سرعت موتور SR روش انتخابی برای شبیه سازی مدار الکتریکی و اندوکتانس موتور توضیح داده شده است و سرانجام چند روش تعیین پارامترهای موتور که مهمترین آنها مشخصه اندوکتانس است مطرح شده اند.

فصل دوم به کارهای انجام شده در کنترل این نوع موتور و روشهای بدون حسگر می پردازد. در این فصل پس از توضیح روشهای کنترل، مناسب ترین آنها برای این پروژه که کنترل گشتاور می باشد انتخاب شده است. سپس اصول کنترل گشتاور با جزئیات بیشتری توضیح داده شده است. در بخش دوم این فصل روشهای بدون حسگر موتور SR تقسیم بندی شده اند. اصول هر روش به همراه نقاط قوت و ضعف آنها با یکدیگر مقایسه و روش مطلوب با ذکر دلایل، انتخاب شده است.

در فصل سوم ابتدا موتور مورد استفاده در این پروژه به همراه منحنی های مشخصه و پارامترهای آن معرفی می شوند. در ادامه تاثیر انتخاب باند هیسترزیس بر روی تلفات اینورتر و ریپل گشتاور موتور مورد بررسی قرار می گیرد. در این بخش برای شبیه سازیها از برنامه Spice استفاده شده است. در ادامه روش شبیه سازی موتور و محرکه آن در محیط Matlab مورد بحث قرار می گیرد و آزمایشهایی برای اطمینان از صحت عملکرد این مدل بر روی آن انجام می گیرد.

فصل چهارم به مقایسه روشهای Balanced Commutator و High Grade Control برای حداقل کردن ریپل گشتاور اختصاص دارد. در این فصل پس از بدست آوردن روابط اینـدو روش برای موتور مورد بحث شبیه سازی آنها در محیط Matlab انجام می گیرد. همچنیـن تغییراتی در جهت تطبیق روش BC با این پروژه در آن صورت مـی پذیـرد. در انتـها روش مطلـوب ایـن پایاننامه با ذکر دلایل، انتخاب خواهد شد.

فصل ۵ اختصاص به روشـهای بـدون حسـگر دارد. روش بـدون حسـگر انتخـابی بـه همـراه روشهای فرعی آن به تفصیل توضیح داده می شوند. سپس شـرایط لازم بـرای عملکـرد صحیـح روشهای بدون حسگر در کنترل موقعیت بررسی می گردنـد. روش انتخـابی طـوری تغییـر داده شده است که بتواند شرایط لازم برای کار را تامین کند. در ادامـه چگونگـی پیـاده سـازی ایـن روش در محیط برنامه Matlab توضیح داده شده و سرانجام نتایج حـاصل از ایـن شـبیه سـازی مورد بررسی قرار می گیرند.

در فصل ۶ کنترل موقعیت موتور SR بدون حسگر بررسی می شـود. ابتـدا سیسـتم کنـترل موقعیت با استفاده از حسگر شبیه سازی و از صحت عملکـرد آن اطمینـان حـاصل مـی گـردد. سپس مشکلات موجود در اجرای این سیستمها بررسی و راه حل پیشنهادی برای این مشـکلات ارائه می شود. راه حل پیشنهادی که روش شمارنده هدایت فاز نام گذاری شده است به تفصیـل توضیح داده و پس از ذکر روش پیاده سازی آن در محیط Matlab نتـایج بدسـت آمـده از ایـن روش مورد بررسی قرار می گیرد.

فصل ۷ نیز اختصاص به نتیجه گیری و پیشنهاداتی در جهت ادامه کار دارد.