دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان

کنترل پیشگو درایو موتور القایی

نگارش:

ناصر وحدتی فر

اساتید راهنما:

دکتر رضا کیانی نژاد

دکتر سعیداله مرتضوی

استاد مشاور:

دکتر قدرت اله سیف السادات

اسفند ۸۹

Shahid Chamran University of Ahwaz

Faculty of Engineering

Electrical Engineering Department

M.Sc. Thesis

Predictive Control of Induction Motor Drive

By:

Naser Vahdatifar

Supervisor:

Dr. Reza Kianinezhad

Dr. Seiied Saeidollah Mortazavi

Advisor:

Dr. Ghodratollah Seiffosadat

March ۲۰۱۱

تقدیم به پدر عزیز

و مادر مهربانم

تقدیم به تمام انسانهای خلاق و پرشوری که برای کسب پیروزی همچنان تلاش می کنند و همواره چراغ راهنما و هدایتی برای دیگران می شوند تا راه برای آیندگان روشن تر شود.

قدردانی و سپاسگزاری

استادان فاضل و ارجمندی که در سراسر دوران تحصیل بنده مرا یاری نموده و به آموزش من پرداخته اند بر من سپاسی بزرگ نهاده اند. از همه این بزرگواران به ویژه اساتید راهنمای مهربان خود آقای دکتر رضا کیانی نژاد و آقای دکتر سید سعیداله مرتضوی و استاد گرامی مشاورم آقای دکتر قدرت اله سیف السادات که در طول این تحقیق مرا با راهنمایی های خود یاری نموده اند، از صمیم قلب سپاسگزاری می‌کنم.

چکیده

نام خانوادگی: وحدتی فر **نام:** ناصر

عنوان پایان نامه: کنترل پیشگو درایو موتور القایی

اساتید راهنما: دکتر رضا کیانی نژاد - دکتر سید سعید اله مرتضوی

استاد مشاور: دکتر قدرت اله سیف السادات

درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** برق **گرایش:** قدرت

محل تحصیل: دانشگاه شهید چمران اهواز **دانشکده:** مهندسی

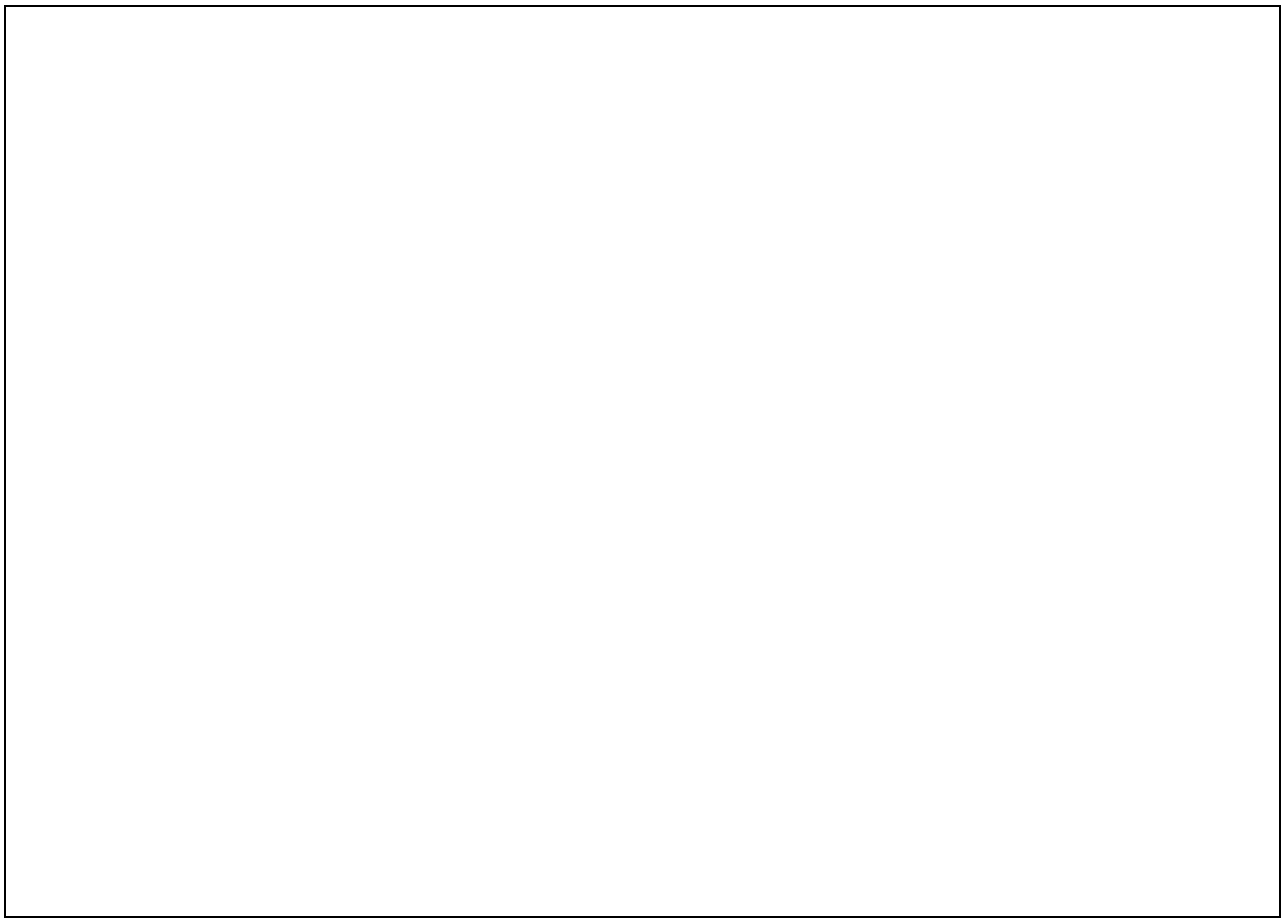
تاریخ فارغ التحصیلی: ۸۹/۱۲/۲۲ **تعداد صفحه:** ۱۳۹

واژه های کلیدی: درایو الکتریکی، موتور القایی، کنترل پیشگو، کنترل فازی، شبکه های عصبی مشاهده گر جریان

چکیده: درایوهای الکتریکی به منظور کنترل موتورهای القایی به کار می‌روند. روشهای کنترل اسکالر با تکیه به کنترل اندازه ولتاژ، فرکانس و جریان ورودی موتور هستند. با ارائه کنترل برداری در دهه ۱۹۷۰ میلادی امکان کنترل دقیق موتورهای القایی فراهم گشت. کنترل برداری با جداسازی جریان موتور به دو مولفه عمود که یکی از آنها تولید شار در موتور و دیگری تولید گشتاور را کنترل می‌کرد توانست امکان کنترل مجزای شار و گشتاور را فراهم آورد. درسال ۱۹۸۶، روش مبتنی برکنترل مستقیم گشتاور در موتورهای القایی توسط TAKAHASHI پیشنهاد گردید که گشتاور و شار موتور به صورت مستقیم و جداگانه کنترل می‌شد. روش های فوق مشکلاتی نظیر محاسبات زمان گیر با حجم بالا، حساسیت زیاد به تغییر پارامترهای موتور، مشکلات راه اندازی، عملکرد در سرعت های پائین و اعوجاج گشتاور را در برداشتند.

کنترل پیشگو با استفاده از خواص منحصر به فرد خود نظیر خود تطبیقی، همزمانی و ... به عنوان ابزاری جهت کنترل موتورهای القایی مطرح گردید. استفاده از کنترل پیشگو این امکان را فراهم می‌سازد از ساختار سری که درطرح های کنترلی فوق استفاده می‌شد اجتناب گردد. همچنین محدودیت و غیرخطی بودن روی پارامترها را می‌توان درنظرگرفت و امکان کنترل چندین متغییر به طور همزمان وجود دارد.

در این تحقیق از کنترل پیشگو همراه با کنترل فازی و شبکه های عصبی به منظور تعیین بردار سوئیچینگ بهینه جهت اعمال به موتور القایی در لحظه سوئیچینگ بعدی استفاده می‌گردد. در این الگوریتم با استفاده از یک تابع هزینه حالات مختلف ممکن برای سوئیچینگ اینورتر بررسی می‌گردند. و بردار سوئیچینگ بهینه ازطریق مینیمم سازی تابع هزینه برای لحظه بعدی انتخاب می‌گردد. شبیه سازی الگوریتم پیشنهادی و طرح کنترلی در فضای MATLAB انجام می‌شود. و اعتبارسنجی روش از طریق اعمال ورودی های مختلف به الگوریتم مورد تأیید قرار می‌گیرد.



اصطلاحات

SMC: Sliding Mode Controller کنترلر حالت لغزشی

FLS: سیستم های منطق فازی

FLC: کنترلر فازی

PWM: Pulse – Width modulator : مدولاسیون پهنای پالس

Predictive controller: کنترل کننده پیشگو

Deadbeat Controller: کنترل کننده بی نوسان

Trajectory: مسیر یابی

MPC: Model Predictive Control : کنترل پیشگو بر اساس مدل

Cost Function: تابع هزینه

NPC: Neutral Point Clamped : کلمپ نقطه خنثی

Neural Networks: شبکه های عصبی

Space Vector: بردار فضایی

Motion Control: کنترل حرکت

Electrical Drive: درایو الکتریکی

Power Modulator: تنظیم کننده توان

Convertor: مبدل

Emf: Electromotive Force نیروی محرکه الکتریکی

Look Up Table: جدول مراجعه ای

Modulator: مخلوط کننده

MLP: Multi Layer Perceptron پرسپترون چند لایه

BP: Back Propagation پس انتشار خطا

LMS: Least Mean Square کمترین میانگین مربعات

Estimator: تخمین گر

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

فصل اول :آشنایی با درایوهای الکتریکی.....۱

۱- ۱ مقدمه.....۲

۱- ۲ اجزای درایوهای الکتریکی.....۲

۱-۲- ۱ موتورهای الکتریکی.....۳

۱-۲- ۲ تنظیم کننده توان.....۴

۱-۲-۳ منابع تغذیه.....۱۱

۱-۲-۴ بلوک های کنترل کننده.....۱۲

۱- ۳ مزایای درایوهای الکتریکی.....۱۲

۱-۴ انتخاب درایو الکتریکی ۱۴

۱- ۵ مقایسه بین درایوهای dc و ac ۱۵

۱- ۶ مدل سازی موتور القایی در سیستم $qd0$ ۱۶

۱ -۶ - ۱تبدیل مولفه های استاتور ۱۶

۱- ۶ - ۲ معادلات ولتاژ – جریان روتور ۲۰

۱ -۶ - ۳ معادله شار – جریان استاتور ۲۲

۱- ۶ - ۴ معادله شار – جریان روتور ۲۳

۱- ۶ - ۵ ماتریس اندوکتانس خودی استاتور ($qd0$) ۲۴

۱- ۶ - ۶ ماتریس اندوکتانس متقابل استاتور- روتور ($qd0$) ۲۴

۱ -۶ - ۷ ماتریس اندوکتانس خودی روتور ($qd0$) ۲۵

۱ - ۶ - ۸ ماتریس اندوکتانس متقابل روتور - استاتور ($qd0$) ۲۵

۱-۶ - ۹ معادلات نهایی ولتاژ - جریان استاتورو روتور.....۲۶

۱- ۶ - ۱۰ معادله دینامیکی ماشین.....۲۸

۱- ۶ - ۱۱ سیستم های مرجع در ماشینهای القایی.....۳۱

فصل دوم : مرور کارهای پیشین انجام شده..... ۳۲

۲- ۱ مقدمه..... ۳۳

۲- ۲ روش های مختلف پیشگویی.....۳۵

۲- ۲ - ۱ کنترل پیشگو بدون نوسان ۳۵

۲ - ۲ -۲ کنترل هیسترزیس برپایه پیشگویی.....۳۷

۲- ۲ - ۳ کنترل پیشگو بر پایه مسیر یابی.....۳۹

۲- ۲- ۴ کنترل پیشگو بر اساس مدل.....۴۲

فصل سوم: کنترل پیشگو بر اساس مدل (MPC).....۴۳

۳- ۱ کنترل پیشگو برمبنای مدل ۴۴

۳ -۱- ۱ مفاهیم اصلی ۴۴

۳-۱-۲ توصیف روش ۴۵

۳- ۲ به دست آوردن معادل Space Vector حالات سوئیچینگ اینورتر

دو سطحی سه فاز.....۴۹

۳- ۳ کنترل پیشگو بر اساس مدل در موتور القایی.....۵۶

۳- ۴ بعضی از مثال های کاربردی.....۵۷

۳ - ۴ - ۱ کنترل جریان.....۵۷

۳- ۴ - ۲ کنترل توان.....۵۹
۳- ۴- ۳ کنترل مبدل NPC ۵۹
۳-۴- ۴ کنترل گشتاور و شار استاتور.....۶۰
فصل چهارم : شبکه های عصبی و کنترل فازی.....۶۲
۴-۱ مقدمه ۶۳
۴-۲ اصول شبکه های عصبی.....۶۴
۴- ۳ کاربردها و خواص شبکه عصبی ۶۴
۴- ۴ مزایا و معایب شبکه های عصبی.....۶۵
۴- ۵ طبیعت شبکه های عصبی.....۶۵
۴- ۶ پرسپترون چند لایه.....۶۸
۴ - ۶ - ۱ مقدمه ۶۸
۴ – ۶ - ۲ یادگیری تحت نظارت ۷۰
۴- ۶ - ۳ روش یادگیری ۷۱
۴- ۷ تاریخچه منطق فازی.....۷۳
۴- ۸ اجزا مجموعه فازی.....۷۵
۴ - ۹ عملیات اصلی مجموعه های فازی ۷۷
۴- ۱۰ اجتماع مجموعه های فازی.....۷۸
۴ - ۱۱ اشتراک مجموعه فازی ۷۹
۴ - ۱۲ سیستم های منطق فازی.....۸۰
۴ - ۱۳ فازی سازی ۸۱

۴ - ۱۴ ا ستنتاج فازی ۸۲

۴ - ۱۵ دی فازی کننده ۸۴

فصل پنجم : مطالعه و شبیه سازی..... ۸۵

۵- ۱ مقدمه ۸۶

۵- ۲ مدل موتور القایی..... ۸۷

۵ - ۳ پایداری لیاپانوف (روش دوم)..... ۸۹

۵ - ۴ کنترل پیشگو بر اساس تابع لیاپانوف..... ۹۱

۵- ۵ معادلات تخمین گر ۹۳

۵- ۶ شبیه سازی کنترل پیشگو..... ۹۴

۵ - ۷ پیاده سازی شبکه عصبی به منظور تخمین حالت سوئیچینگ مناسب..... ۱۰۲

۵- ۷ - ۱ داده های لازم جهت آموزش و اعتبار سنجی..... ۱۰۲

۵- ۷ - ۲ پیش پردازش داده ها..... ۱۰۳

۵- ۷ - ۳ ساختار شبکه عصبی..... ۱۰۳

۵- ۷ - ۴ آموزش و اعتبار سنجی شبکه عصبی..... ۱۰۴

۵- ۷ - ۵ نتایج شبیه سازی..... ۱۰۵

۵ – ۸ استفاده از کنترلرفازی ۱۰۶

۵ – ۸ - ۱ بلوک کنترلر فازی..... ۱۰۷

۵- ۸ - ۲ نتایج شبیه سازی با کنترلر فازی..... ۱۰۹

۵ - ۹ نتیجه گیری..... ۱۱۱

فصل ششم : نتایج..... ۱۱۲

۶ - ۱ نتیجه گیری.....۱۱۳

۶ - ۲ پیشنهادات ۱۱۴

مراجع ۱۱۵

فهرست شکل ها

عنوان شکل .....صفحه

شکل ۱-۱: بلوک دیاگرام درایو الکتریکی در حالت کلی.....۳

شکل ۱-۲: مبدل ac به dc ۷

شکل ۱-۳: کنترل کننده ولتاژac ۸

شکل ۱-۴: مبدل dc به dc ۸

شکل ۱-۵: انواع اینورتر الف) اینورتر موج مربعی ، ب) اینورتر موج مربعی همرا ه با

یکسوکننده قابل تنظیم ، ج) اینورتر pwm ۹

شکل ۱-۶: سیکلو کنورتور.....۱۰

شکل ۱-۷: رابطه برداری بین مختصات abc و $qd0$ ۲۲

شکل ۱-۸: مدار معادل محور q موتور القایی ۲۹

شکل ۱-۹: مدار معادل محور d موتور القایی ۲۹

شکل ۱-۱۰: دینامیک حاکم بر محور ماشین ۳۲

شکل ۲-۱: طرح های مختلف کنترل مبدل های قدرت.....۳۵

شکل ۲-۲: دسته بندی روشهای کنترل پیشگو به کار برده شده در

الکترونیک قدرت.....۳۷

شکل ۲-۳: بلوک دیاگرام کنترل جریان بدون نوسان.....۳۸

شکل ۲-۴: شرح چگونگی عملکرد کنترلر جریان بدون نوسان.....۳۸

شکل ۲-۵: بلوک دیاگرام هیسترزیس بر پایه کنترلر پیشگو.....۴۰

شکل۲-۶: کنترل جریان پیشگوهیسترزیس، مرز دایره ای.....۴۰

شکل ۲-۷: بلوک دیاگرام کنترل مستقیم سرعت.....۴۲

شکل ۲-۸: مسیر یابی در طرح حالت e_k / a_k ۴۳

شکل۳-۱: پیش بینی بر مبنای مدل و ارزیابی تابع هدف..... ۴۸

شکل ۳-۲: بهینه سازی سیگنال کنترلی $u(k_c)$ ۵۰

شکل ۳-۳: ساختارکنترل کننده MPC ۵۱

شکل ۳-۴: اینورتر سه فاز..... ۵۲

شکل ۳-۵: هشت حالت مجاز کلیدها در اینورتر دوسطحی سه فاز..... ۵۵

شکل ۳-۶: منعکس شدن ولتاژ سه فاز abc روی محورهای d و q ۵۶

شکل ۳-۷: نمایش شش بردار غیرصفر و دو بردار صفر و وضعیت متناظر کلیدها با

هرهشت بردار در مختصاتdq..... ۵۷

شکل ۳-۸: کنترل پیشگو بر اساس مدل در موتور القایی..... ۵۹

شکل ۴-۱: نمایش عملکرد یک نرون..... ۶۹

شکل ۴-۲: نرون MP تعمیم یافته ۶۹

شکل ۴-۳: نمایشMLP ۷۲

شکل ۴-۴: یاد گیری تحت نظارت..... ۷۴

شکل ۴-۵: مجموعه کلاسیک..... ۷۹

شکل ۴-۶: مجموعه های فازی..... ۸۰

شکل ۴-۷: توا بع عضویت مجموعه های فازی..... ۸۱

شکل ۴-۸: اجتماع مجموعه های فازی..... ۸۲

شکل ۴-۹: اشترک مجموعه های فازی..... ۸۳

شکل ۴-۱۰: فازی ساز..... ۸۵

شکل ۴-۱۱: فرآیند استنتاج فازی ۸۷

شکل ۴-۱۲: سیستم منطق فازی ۸۸

شکل ۵-۱: الگوریتم کنترل پیشگو بر پایه تابع لیاپانوف.....۹۶

شکل ۵-۲: مشاهده گر شاراستاتور و گشتاور.....۹۸

شکل ۵-۳: نمودارهای گشتاور مرجع، الکترومغناطیسی و بار ۱۰۰

شکل۵-۴: نمودار سرعت ۱۰۰

شکل ۵-۵: نمودار بردارهای ولتاژ فضایی.....۱۰۱

شکل ۵-۶: نمودار بردارهای جریان فضایی.....۱۰۱

شکل ۵-۷: نمودار شار استاتور مرجع و موتور.....۱۰۲

شکل ۵-۸: نمودارهای گشتاور مرجع، الکترومغنا طیسی و بارموتور چهار کیلو وات..... ۱۰۴

شکل۵-۹: نمودار سرعت موتور چهارکیلو وات ۱۰۴

شکل ۵-۱۰: نمودار بردارهای ولتاژ فضایی موتور چهار کیلو وات ۱۰۵

شکل ۵-۱۱: نمودار بردارهای جریان فضایی موتور چهار کیلو وات ۱۰۵

شکل ۵-۱۲: نمودار شار استاتور مرجع و موتور موتور چهار کیلو وات ۱۰۶

شکل ۵ -۱۳: بلوک دیاگرام شبکه عصبی به کار گرفته شده جهت تعیین حالت

سوئیچینگ منا سب.....۱۰۹

شکل ۵-۱۴: نمودار مقادیر هدف و پیش بینی شده شبکه عصبی.....۱۱۰

شکل ۵- ۱۵: بلوک دیاگرام کنترلر فازی.....۱۱۱

شکل ۵ -۱۶: بلوک دیاگرام کنترلر فازی.....۱۱۲

شکل ۵ -۱۷: توابع عضویت استفاده شده در کنترلر فازی ۱۱۳

شکل ۵ -۱۸: نمودارهای گشتاور مرجع، الکترومغناطیسی و بار ۱۱۴

شکل ۵-۱۹: نمودار سرعت ۱۱۴

شکل ۵-۲۰: نمودار شار استاتور مرجع و موتور.....۱۱۵
شکل ۵-۲۱: نموداربردارهای جریان فضایی.....۱۱۵
شکل ۵-۲۲: نموداربردارهای ولتاژ فضایی.....۱۱۶

فهرست جدول ها

عنوان جدول.....صفحه

جدول ۳-۱: مقادیر بردارهای ولتاژ فضایی مربوط به هشت حالت سوئیچینگ اینورتر دو سطحی سه فاز.....۵۸

جدول ۵-۱: پارامترهای موتور القایی.....۹۹

جدول ۵-۲: پارامترهای موتور القایی.....۱۰۳

جدول ۵-۳: مجموعه قوانین فازی ۱۱۳

فصل اول

آشنایی با درایو های الکتریکی

۱-۱ مقدمه

امروزه در بسیاری از صنایع و حتی در وسایل خانگی، نیاز به کنترل حرکت[۱] می‌باشد. کنترل حرکت برحسب نیاز به صورت کنترل وضعیت زاویه‌ای، مسافت پیموده شده، کنترل سرعت و یا کنترل گشتاور انجام می‌گیرد. به عنوان مثال می‌توان، به کاربرد این کنترل کننده‌ها درسیستمهای حمل و نقل، صنایع نورد، کاغذسازی، نظامی و نساجی و همچنین ماشین افراز، ربات و ماشین لباسشوئی اشاره نمود. مجموعه سیستمی را که بوسیله آن حرکت یک بار مکانیکی دراشکال مختلف آن کنترل گردیده و امکان دستیابی به گشتاور و سرعت‌های مختلف فراهم می‌گردد، یک درایو می‌نامند [۱].

درهر درایو یک قسمت به نام موتور و یا محرک اصلی وجود دارد، که در واقع منبع ایجاد حرکت می‌باشد این قسمت به صورت های مختلف هیدرولیکی، پنوماتیکی، موتورمکانیکی و یا موتورالکتریکی می‌باشد، درایوی که درآن ایجاد حرکت به وسیله موتور الکتریکی انجام می‌گیرد، اصطلاحاً درایو الکتریکی[۲] نامیده می‌شود [۱].

۱-۲ اجزای درایوهای الکتریکی

در شکل ۱- ۱ اجزای یک درایو الکتریکی نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد، اجزای اصلی عبارتند از منبع تغذیه، سیستم تنظیم کننده توان[۳]، بلوک کنترل کننده و بار مکانیکی[۴].

[۱] –Motion Control

[۲] – EIectrical Drive

[۳] –Power Modulator

[۴] - Load