بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه اصفهان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته برق گرایش ماشین‌های الکتریکی و درایو

# طراحی و ساخت کنترل برداری سرعت موتور القایی بر اساس تنظیم بهینه ضرایب کنترل کننده ها به روش هوشمند

**استادان راهنما:**

دکتر بهزاد میرزائیان دهکردی

دکتر آرش کیومرثی

**استاد مشاور:**

دکتر مهدی نیرومند

**پژوهشگر:**

حسین ربیع

مرداد ماه ۱۳۹۰

**کلیه حقـوق مـادی مترتـب بـر نتـایج مطالعـات،
ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضـوع
این پایان نامه متعلق به دانشگاه اصفهان است.**

شیوه نگارش پایان نامه
رعایت شده است.

**دانشگاه اصفهان**

**دانشکده فنی و مهندسی**

**گروه مهندسی برق**

**پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش قدرت آقای حسین ربیع**

**تحت عنوان**

# طراحی و ساخت کنترل برداری سرعت موتور القایی بر اساس تنظیم بهینه ضرایب کنترل کننده ها به روش هوشمند

در تاریخ ۱۳۹۰/۵/۳ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه ...عالی..... به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر بهزاد میرزائیان با مرتبه علمی دانشیار امضا

۲- استاد راهنمای پایان نامه دکتر آرش کیومرثی با مرتبه علمی استادیار امضا

۳- استاد مشـــاور پایان نامه دکتر مهدی نیرومند با مرتبه علمی استادیار امضا

۴- استاد داور داخـــل گروه دکتر محمد فرزان صباحی با مرتبه علمی استادیار امضا

۴- استاد داور خـارج از گروه دکتر احمد میرزائی با مرتبه علمی استادیار امضا

**امضای مدیر گروه**

تقدیم به خانواده مشوق و صبورم که در همه لحظات پشتیبانم بودند

# تقدیر و تشکر

در اینجا بر خود لازم می دانم از جناب آقای دکتر بهزاد میرزائیان و جناب آقای دکتر آرش کیومرثی به عنوان اساتید راهنما و همچنین از جناب آقای دکتر مهدی نیرومند به عنوان استاد مشاور برای راهنمایی های دلسوزانه و سازنده، تشکر و قدردانی را داشته باشم. همچنین از اعضای هیات داوران آقایان دکتر احمد میرزایی و دکتر محمد فرزان صباحی به خاطر مطالعه دقیق این پایان نامه و ارائه پیشنهادات مهم و سازنده سپاس گزاری کنم.

همچنین از زحمات دوست بسیار عزیزم آقای مهندس جواد عربی و نیز تلاش های آقای مهندس آزادی در مجهز کردن اتاق پروژه ارشد و پیگیری های دلسوزانه آقای موحدیان کمال تشکر و قدردانی را دارم

**چکیده**

موتورهای القایی به علت سادگی، قابلیت اطمینان و بازده بالا، قیمت پایین، عدم کموتاسیون و نیاز به سرویس کمتر، بسیار زیاد در مصارف صنعتی مورد استفاده می‌شوند. جهت کنترل موتور القایی از دو روش اصلی اسکالر و برداری استفاده می‌شود. روش اسکالر که از طریق کنترل اندازه متغیرها انجام می‌گیرد و در آن کنترل پاسخ حالت دائمی سیستم مد نظر است در این روش شار وگشتاور اثر تزویج متقابل بر روی یکدیگر داشته و باعث کندی پاسخ موتور القایی نسبت به تغییر سیگنال مرجع ورودی می‌شود. در روش کنترل برداری اندازه و فاز متغیرها کنترل می‌شود و علاوه بر پاسخ حالت دائمی پاسخ حالت دینامیکی نیز کنترل می-شود و امکان کنترل کردن موتور القایی را به طور مشابه با یک موتور جریان مستقیم با تحریک مستقل را فراهم می‌سازد و با این روش می‌توان شار و گشتاور را به طور مستقل کنترل کرد. برای تنظیم کردن ضرایب کنترل کننده‌های کلاسیک می‌توانیم از روش سعی و خطا استفاده کرد که برای رسیدن به پاسخ پله مطلوب روش مطمئنی نیست وخیلی دشوار است. روش دیگر برای رسیدن به پاسخ پله مطلوب، استفاده از الگوریتم‌های هوشمند، مانند الگوریتم ژنتیک می‌باشد. در این الگوریتم هدف مینیمم کردن تابع هدف می‌باشد که این تابع مجموع مقدار ماکزیمم فراجهش، زمان صعود، زمان نشست و خطای حالت ماندگار می‌باشد.

کارهای صورت گرفته شده در این پایان‌نامه شامل طراحی و ساخت بردهای مورد نیاز جهت کنترل سرعت موتور القایی، شامل بردهای سنسور جریان و برد درایور ماژول هوشمند قدرت، پیاده‌سازی روش V/f بر روی پردازنده‌ی سیگنال دیجیتال TMS320F2812 با استفاده از کنترل‌کننده‌ی کلاسیک، پیاده‌سازی روش کنترل برداری غیر مستقیم در مختصات شار رتور توسط اینورتر منبع ولتاژ بر روی پردازنده‌ی سیگنال دیجیتال TMS320F2812 با استفاده از کنترل کننده‌ی کلاسیک و پیاده‌سازی روش کنترل برداری غیرمستقیم در مختصات شار رتور توسط اینورتر منبع ولتاژ در حالت کنترل جریان بر روی پردازنده‌ی سیگنال دیجیتال TMS320F2812 با استفاده از کنترل کننده‌ی کلاسیک می‌باشد. به منظور تولید کدهای مورد نیاز پردازنده‌ی سیگنال دیجیتال از ارتباط بین MATLAB با این پردازنده استفاده شده است. سرعت و جریان موتور، بعد از ورود به پردازنده توسط ورودی‌های دیجیتال و آنالوگ، توسط کانال مخصوصی خوانده شده‌اند. نتایج عملی طراحی و ساخت روش‌های کنترل سرعت اسکالر و برداری یک موتور القایی را بر اساس تنظیم ضرایب کنترل کننده‌های کلاسیک به روش هوشمند برای تغییر پله در سرعت و تغییر پله در بار تایید می‌کند

**کلید واژه‌ها:**کنترل برداری غیر مستقیم، کنترل کننده کلاسیک، الگوریتم ژنتیک، پردازنده سیگنال دیجیتال، روش مدولاسیون پهنای باند بردار فضایی

## فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


**فصل اول: مقدمه ..... ۱**

۱-۱ کلیات ..... ۱

۱-۲ کنترل کننده‌ی کلاسیک ..... ۲

۱-۲-۱ کنترل کننده‌ی PI ..... ۲

۱-۲-۲ کنترل کننده‌ی IP-PI ..... ۳

۱-۳ الگوریتم ژنتیک ..... ۴

۱-۴ روند ارائه مطالب ..... ۵

**فصل دوم: کنترل اسکالر موتور القایی ..... ۶**

۲-۱ مقدمه ..... ۶

۲-۲ بررسی نواحی سه‌گانه کنترل سرعت موتور القایی ..... ۶

۲-۲-۱ ناحیه کوپل ثابت دامنه سرعت بین صفر تا سرعت مبنا ..... ۷

۲-۲-۲ ناحیه توان ثابت سرعت بیش از سرعت مبنا ..... ۷

۲-۲-۳ ناحیه عملکرد مشابه موتورهای جریان دائم سری (سرعت‌های خیلی زیاد) ..... ۷

۲-۳ کنترل اسکالر موتور القایی تغذیه شده با اینورتر VSI با کنترل ولتاژ و فرکانس ..... ۷

۲-۳-۱ کنترل کننده سرعت حلقه باز ..... ۸

۲-۳-۲ ساختار کنترل‌کننده‌ی سرعت حلقه بسته به‌روش $V/f$ ثابت با محدود کننده جریان ..... ۹

۲-۴ نتیجه‌گیری ..... ۱۱

**فصل سوم: کنترل برداری موتور القایی ..... ۱۲**

۳-۱ مقدمه ..... ۱۲

**عنوان** **صفحه**


۳-۲ کنترل برداری ماشین القایی توسط جهت‌یابی شار رتور ..... ۱۳

۳-۲-۱ معادلات ولتاژ استاتور در مختصات شار رتور ..... ۱۴

۳-۲-۲ مدارهای مجزاساز در مختصات شار رتور ..... ۱۶

۳-۲-۳ معادلات ولتاژ رتور در مختصات شار رتور ..... ۱۶

۳-۲-۴ گشتاور الکترومغناطیسی در مختصات شار رتور ..... ۱۹

۳-۳ کنترل برداری غیرمستقیم ماشین القایی در حالت تغذیه توسط منبع ولتاژ ..... ۱۹

۳-۴ کنترل برداری غیرمستقیم ماشین القایی با تغذیه توسط منبع ولتاژ در حالت کنترل جریان ..... ۲۲

۳-۵ نتیجه‌گیری ..... ۲۳

**فصل چهارم: تنظیم ضرایب کلاسیک توسط الگوریتم ژنتیک ..... ۲۴**

۴-۱ مقدمه ..... ۲۴

۴-۲ بهینه‌سازی ژنتیک ..... ۲۶

۴-۳ الگوریتم ژنتیک ..... ۲۶

۴-۴ ساختار الگوریتم ژنتیک ..... ۲۷

۴-۵ عملگرهای ژنتیکی ..... ۲۸

۴-۵-۱ عملگر جابجایی ..... ۲۸

۴-۵-۲ عملگر جهش ..... ۲۹

۴-۵-۳ عمل انتخاب ..... ۳۰

۴-۶ مکانیزم انتخاب بر اساس چرخ گردان (رولت) ..... ۳۱

۴-۷ تعیین عدد برازندگی ..... ۳۲

۴-۸ تابع هدف ..... ۳۳

۴-۹ گزینه‌های معیار توقف ..... ۳۵

**عنوان** **صفحه**

۴-۱۰ اجرای الگوریتم ژنتیک برای تنظیم ضرایب کنترل کننده کلاسیک در روش اسکالر و برداری..... ۳۶

۴-۱۱ نتیجه‌گیری..... ۳۷

فصل پنجم: نتایج عملی..... ۳۸

۵-۱ مقدمه..... ۳۸

۵-۲ تجهیزات مورد استفاده..... ۳۸

۵-۳ نتایج عملی کنترل سرعت، به روش *V/f* ثابت با استفاده از کنترل کننده‌ی PI توسط DSP..... ۴۱

۵-۳-۱ تغییرات پله در سرعت..... ۴۱

۵-۳-۲ تغییرات پله در گشتاور بار..... ۴۴

۵-۴ نتایج عملی کنترل برداری غیرمستقیم جهت یابی شده با شار رتور با استفاده از کنترل کننده‌ی PI در حالت تغذیه توسط منبع ولتاژ..... ۴۷

۵-۴-۱ تغییرات پله در سرعت..... ۴۷

۵-۴-۲ تغییرات پله در گشتاور بار..... ۴۷

۵-۵ نتایج عملی کنترل برداری غیرمستقیم جهت یابی شده با شار رتور با استفاده از کنترل کننده‌ی PI با تغذیه توسط منبع ولتاژ در حالت کنترل جریان..... ۵۰

۵-۵-۱ تغییرات پله در سرعت..... ۵۱

۵-۵-۲ تغییرات پله در گشتاور بار..... ۵۱

۵-۶ مقایسه بین کنترل کننده IP-PI و کنترل کننده PI برای کنترل سرعت به روش *V/f*..... ۵۴

**فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات ادامه کار ..... ۵۷**

۶-۱ نتیجه‌گیری..... ۵۷

۶-۲ پیشنهادات ادامه کار..... ۵۸

پیوستها:..... ۵۹

**عنوان** **صفحه**


پیوست ۱ : مدولاسیون پهنای باند بردار فضایی ..... ۵۹

پ-۱-۱ مقدمه ..... ۵۹

پ-۱-۲ اصول اولیه‌ی روش مدولاسیون پهنای باند بردار فضایی ..... ۶۰

پیوست ۲ : تعیین پارامترهای موتور القایی ..... ۶۲

پ-۲-۱ تعیین پارامترهای الکتریکی ..... ۶۲

پ-۲-۱-۱ تعیین مقاومت استاتور ..... ۶۲

پ۲-۱-۲ آزمایش رتور قفل شده ..... ۶۲

پ۲-۱-۳ آزمایش بی‌باری ..... ۶۵

پ-۲-۲ به دست آوردن پارامترهای میکانیکی ..... ۶۶

پ-۲-۲-۱ ضریب چسبناکی ..... ۶۷

پ-۲-۲-۲ اینرسی موتور و بار ..... ۶۸

پ-۲-۳ بدست آوردن مقدار نامی شار پیوندی رتور $\psi_{rx}$ ..... ۶۹

پ-۲-۴ پارامترهای موتور تحت آزمایش ..... ۷۱

پیوست ۳ : طراحی و ساخت بردهای مورد نیاز جهت کنترل سرعت موتور القایی ..... ۷۲

پ-۳-۱ مشخصات مبدل A/D پردازنده DSP با شماره TMS320F2812 ..... ۷۲

پ-۳-۲ برد سنسور جریان ..... ۷۳

پ-۳-۳ بلوک ADC ..... ۷۷

پ-۳-۴ انکدر افزایشی ..... ۸۰

پ-۳-۵ بلوک QEP ..... ۸۶

پ-۳-۶ برد درایور ..... ۸۸

پ-۳-۷ محاسبه‌ی مربوط به لینک dc ..... ۹۶

**عنوان** **صفحه**

پ-۳-۸ ساختن پالس‌های PWM ..... ۹۷

پ-۳-۹ نکات کاربردی ..... ۱۰۰

منابع و مآخذ: ..... ۱۰۴

## فهرست شکل‌ها

**عنوان** **صفحه**


شکل ۱-۱ کنترل کننده PI ..... ۳

شکل ۱-۲ کنترل کننده ترکیبی IP-PI ..... ۳

شکل ۲-۱. تابع ولتاژ مرجع $V_s^*$ برحسب فرکانس مرجع $\omega_e^*$ ..... ۸

شکل ۲-۲. کنترل کننده حلقه‌ی باز با استفاده از نسبت ولتاژ به فرکانس ثابت ..... ۹

شکل۲-۳. ساختار کنترل‌کننده‌ی سرعت حلقه بسته به‌روش $V/f$ ثابت با محدود کننده جریان ..... ۱۱

شکل ۳-۱. فازور فضایی جریان استاتور در مختصات ساکن و در مختصات شار رتور [۴] ..... ۱۴

شکل ۳-۲. محاسبه‌ی اندازه و سرعت شار رتور با استفاده از جریان‌ها و سرعت [۴] ..... ۱۸

شکل ۳-۳. کنترل برداری با جهت‌یابی غیرمستقیم شار رتور در حالت تغذیه توسط منبع ولتاژ [۴] ..... ۲۲

شکل ۳-۴. کنترل برداری با جهت‌یابی غیرمستقیم شار رتور با تغذیه توسط منبع ولتاژ در حالت کنترل جریان ..... ۲۳

شکل ۴-۱. نمایی از کروموزم ..... ۲۷

شکل ۴-۲. نمایی از عملگر جهش ..... ۲۹

شکل ۴-۳. نمایی از نحوه تولید نسل جدید از نسل قدیم ..... ۳۰

شکل ۴-۴. مکانیزم چرخ رولت ..... ۳۱

شکل ۴-۵. پاسخ پله تثبیت شده یک سیستم درجه دوم ..... ۳۴

شکل ۴-۶. پاسخ پله تثبیت نشده و ناپایدار یک سیستم درجه دوم ..... ۳۴

شکل ۴-۷. فلوچارت الگوریتم ژنتیک ..... ۳۶

شکل ۴-۸ نمودارهای همگرایی و توقف الگریتم ژنتیک ..... ۳۷

شکل ۵-۱. میزکار آزمایشگاهی ..... ۴۰

شکل ۵-۲. بلوک دیاگرام تجهیزات آزمایشگاهی ..... ۴۰

**عنوان** **صفحه**

شکل ۵-۳. کنترل حلقه باز به روش *V/f* ثابت ..... ۴۲

شکل ۵-۴. کنترل حلقه بسته به روش *V/f* ثابت توسط کنترل کننده PI مرسوم ..... ۴۲

شکل ۵-۵. ردیابی سرعت مرجع با کنترل‌کننده‌ی PI تنظیم شده توسط GA در روش *V/f* ثابت ..... ۴۳

شکل ۵-۶. فرکانس مرجع در پاسخ به تغییرات سرعت مرجع در روش *V/f* ثابت ..... ۴۳

شکل۵-۷. پاسخ به تغییرات پله‌ای گشتاور بار توسط کنترل کننده PI تنظیم شده توسط GA ..... ۴۴

شکل ۵-۸. جریان خط استاتور در طی افزایش‌های پله‌ای بار در روش *V/f* ثابت ..... ۴۵

شکل ۵-۹. فرکانس مرجع در پاسخ به تغییرات گشتاور بار در روش *V/f* ثابت ..... ۴۵

شکل ۵-۱۰. گشتاور الکترو مغناطیسی تولیدی موتور در طی افزایش‌های پله‌ای بار در روش *V/f* ثابت ..... ۴۶

شکل ۵-۱۱. شار رتور در طی افزایش‌های پله‌ای بار به روش *V/f* ثابت ..... ۴۶

شکل ۵-۱۲. ردیابی سرعت مرجع با کنترل‌کننده‌ی PI تنظیم شده توسط GA در روش کنترل برداری ..... ۴۸

شکل ۵-۱۳. پاسخ به تغییرات گشتاور بار با کنترل‌کننده‌ی PI تنظیم شده توسط GA در روش کنترل برداری ..... ۴۸

شکل ۵-۱۴. گشتاور تولیدی موتور در هنگام تغییر گشتاور بار با کنترل‌کننده‌ی PI تنظیم شده توسط الگوریتم GA در روش کنترل برداری ..... ۴۹

شکل ۵-۱۵. گشتاور مرجع در هنگام تغییر گشتاور بار با کنترل‌کننده‌ی PI تنظیم شده توسط GA در روش کنترل برداری ..... ۴۹

شکل ۵-۱۶. جریان محور مستقیم استاتور در هنگام تغییر گشتاور بار با کنترل‌کننده‌ی PI تنظیم شده توسط GA در روش کنترل برداری ..... ۵۰

شکل ۵-۱۷. ردیابی سرعت مرجع با کنترل‌کننده‌ی PI تنظیم شده توسط GA در روش کنترل برداری در حالت کنترل جریان ..... ۵۱

شکل ۵-۱۸. پاسخ به تغییرات گشتاور بار با کنترل‌کننده‌ی PI تنظیم شده توسط GA در روش کنترل برداری در حالت کنترل جریان ..... ۵۲

**عنوان** **صفحه**

شکل ۵-۱۹. گشتاور تولیدی موتور در هنگام تغییرات گشتاور بار با کنترل‌کننده‌ی PI تنظیم شده توسط GA در روش کنترل برداری در حالت کنترل جریان ۵۲

شکل ۵-۲۰. گشتاور مرجع در هنگام تغییرات گشتاور بار با کنترل‌کننده‌ی PI تنظیم شده توسط GA در روش کنترل برداری در حالت کنترل جریان ۵۳

شکل ۵-۲۱. جریان محور مستقیم استاتور در هنگام تغییرات گشتاور بار با کنترل‌کننده‌ی PI تنظیم شده توسط GA در روش کنترل برداری در حالت کنترل جریان ۵۳

شکل ۵-۲۲. گشتاور بر حسب جریان محور قائم استاتور در هنگام تغییرات گشتاور بار با کنترل‌کننده‌ی PI تنظیم شده در روش کنترل برداری در حالت کنترل جریان ۵۴

شکل ۵-۲۳. ردیابی سرعت مرجع با کنترل‌کننده‌ی IP-PI تنظیم شده توسط GA در روش *V/f* ثابت ۵۵

شکل ۵-۲۴. پاسخ به تغییرات پله‌ای گشتاور بار توسط کنترل کننده IP-PI تنظیم شده توسط GA ۵۶

شکل پ-۱ : کلیات مدولاسیون بردار فضایی ۶۰

شکل پ-۲. پالس‌های اعمال شده به سر گیت-امیتر سوئیچ‌ها ۶۱

شکل پ-۳. مدار معادل موتور که با صرفنظر از $X_m$ در حالت رتور قفل ۶۳

شکل پ-۴. مدار معادل موتور را در حالت بی‌باری ۶۵

شکل پ-۵. راه‌اندازی بی‌بار موتور و قطع تغذیه پس از چند ثانیه ۶۸

شکل پ-۶. برد سنسور جریان ۷۳

شکل پ-۷. سنسور جریان و مدار داخلی آن ۷۴

شکل پ-۸. رابطه ولتاژ خروجی و جریان اولیه ۷۵

شکل پ-۹: نمایی از مدارات برد جریان ۷۶

شکل پ-۱۰. نمایی از بلوک ADC ۷۷

شکل پ-۱۱. جعبه تنظیمات ۷۸

شکل پ-۱۲. تبدیل سیگنال خروجی از ADC به مقدار واقعی جریان ۸۰

**عنوان** **صفحه**


شکل پ-۱۳. دیسک و چشم انکدر افزایشی ۸۰

شکل پ-۱۴. پالس خروجی انکدر افزایشی ۸۰

شکل پ-۱۵. مدار بایاس سنسور گیرنده و فرستنده مادون قرمز ۸۱

شکل پ-۱۶. جهت چرخش ۸۲

شکل پ ۱۷. مدار اشمیت تریگر ۸۳

شکل پ-۱۸. لبه‌های بالا رونده و پائین رونده‌ی پالس_های انکدر ۸۴

شکل پ-۱۹. موقعیت سیگنال مرجع انکدر ۸۵

شکل پ-۲۰. تبدیل سطح ولتاژ پالس‌های خروجی انکدر به ۰ تا ۳ ۸۵

شکل پ-۲۱. Dialog Box مربئط به QEP ۸۶

شکل پ-۲۲. میز کار آزمایشگاهی ۸۸

شکل پ-۲۳. رگولاتور خطی ۸۹

شکل پ-۲۴. مدار ایزوله کننده ۹۱

شکل پ-۲۵. مدرات داخلی IPM ۹۳

شکل پ-۲۶. مدار داخلی HCPL316j ۹۴

شکل پ-۲۷. مدار داخلی TLP250 ۹۴

شکل پ-۲۸. ساختار ترانس پالس‌ها ۹۴

شکل پ-۲۹. تکنیک بوت‌استرپ ۹۵

شکل پ-۳۰. مدار داخلی TIP521-4 ۹۶

شکل پ-۳۱. زمان اجرای هر سیکل از برنامه ۱۰۲

شکل پ-۳۲. اطلاعات بدست آمده از اجرای دستور Profile ۱۰۲

## فهرست جدول‌ها

**عنوان** **صفحه**


جدول ۴-۱. تعیین پارامترهای پاسخ پله برای حالات ناپایدار و تثبیت نشده ..... ۳۵

جدول ۵-۱. ضرایب تنظیم شده PI توسط GA در روش اسکالر ..... ۴۱

جدول ۵-۲.زمان اعمال گشتاور ..... ۴۴

جدول ۵-۳. ضرایب تنظیم شده PI توسط GA در روش کنترل برداری ..... ۴۷

جدول ۵-۴. ضرایب تنظیم شده PI توسط GA در روش کنترل برداری در حالت کنترل جریان ..... ۵۰

جدول ۵-۵. ضرایب تنظیم شده IP-PI توسط GA در روش اسکالر ..... ۵۴

جدول ۵-۶. مقایسه کنترل کننده PI با کنترل کننده IP-PI در تغییرات پله‌ای سرعت ..... ۵۵

جدول ۵-۷. مقایسه مقایسه کنترل کننده PI با کنترل کننده IP-PI در تغییرات پله‌ای گشتاور بار ..... ۵۵

جدول پ-۱. مقاومت رتور در فرکانس‌های مختلف در حالت رتور قفل ..... ۶۳

جدول پ-۲. تفکیک راکتانس نشتی رتور از استاتور با توجه به کلاس موتور ..... ۶۴

جدول پ-۳.راکتانس نشتی موتور کلاس موتور A در چهار فرکانس ..... ۶۵

جدول پ-۴. پارامترهای موتور القایی سه فاز ۵۰۰ وات دو قطبی ۵۰ ..... ۷۱

جدول پ-۵. اتصالات پیشنهادی بین پایه‌های سنسور برای اندازه‌گیری جریان‌های مختلف ..... ۷۵

## فهرست علائم

$E_{ss}$ : ..... خطای ماندگار

$fitness(S_j)$ : ..... عدد برازندگی

$f_{obj}(S_j)$ : ..... تابع هدف

$f^0(S_j)$ : ..... مقدار برازندگی

$i_{sD}$ : ..... جریان محور مستقیم استاتور در مختصات ساکن

$i_{sQ}$ : ..... جریان محورقائم استاتور در مختصات ساکن

$i_{mD}$ : ..... جریان محور مستقیم مغناطیس‌کنندگی در مختصات ساکن

$i_{mQ}$ : ..... جریان محورقائم مغناطیس‌کنندگی در مختصات ساکن

$i_{sx}$ : ..... جریان محور مستقیم استاتور در مختصات شار دوار

$i_{sy}$ : ..... جریان محور قائم استاتور در مختصات شار دوار

$\bar{\imath}_s$ : ..... فازور فضایی جریان استاتور

$\bar{\imath}_r$ : ..... فازور فضایی جریان رتور

$\bar{\imath}_{s\psi r}$ : ..... فازور فضایی جریان استاتور در مختصات شار رتور

$\bar{\imath}_{s\psi s}$ : ..... فازور فضایی جریان استاتور در مختصات شار استاتور

$\bar{\imath}_{sm}$ : ..... فازور فضایی جریان استاتور در مختصات شار مغناطیس‌کنندگی

$\bar{\imath}_{mr}$ : ..... فازور فضایی جریان مغناطیس‌کنندگی در مختتصات شار رتور

$\bar{\imath}_{ms}$ : ..... فازور فضایی جریان مغناطیس‌کنندگی در مختتصات شار استاتور

$\bar{\imath}_{mm}$ : ..... فازور فضایی جریان مغناطیس‌کنندگی در مختتصات شار مغناطیس‌کنندگی

$\bar{\imath}_{r\psi r}$ : ..... فازور فضایی جریان رتور در مختصات شار رتور

$\bar{\imath}_{r\psi s}$ : ..... فازور فضایی جریان رتور در مختصات شاراستاتور

$\bar{\imath}_{rm}$ : ..... فازور فضایی جریان رتور در مختصات شار مغناطیس‌کنندگی

$L_c$ : ..... طول کروموزم

$L'_s$ : ..... اندوکتانس گذرای استاتور

$L_s$ : ..... اندوکتانس استاتور

$L_{sl}$ : ..... اندوکتانس نشتی استاتور

$L_m$ : ..... اندوکتانس مغناطیس‌کنندگی

Mp : ..... ماکزیمم فراجهش

m : ..... تعداد ژن‌ها

N : ..... تعداد کروموزم

$P$ : ..... تعداد جفت قطب

Pm : ..... نرخ جهش

$P_1$ : ..... تعداد کروموزم‌هایی که با تغییر از نسل قدیم به نسل جدید می‌روند

$P_2$ : ..... تعداد کروموزم‌هایی که بدون تغییر از نسل قدیم به نسل جدید می‌روند

$p$ : ..... عملگر مشتق

$R_s$ : ..... مقاومت استاتور

$R_r$ : ..... مقاومت رتور

$T_s$ : ..... ثابت زمانی استاتور

$T_{sl}$ : ..... ثابت زمانی نشتی استاتور

Tss : ..... زمان نشست

$T_{rl}$ : ..... ثابت زمانی نشتی رتور

Tr : ..... زمان صعود

$T'_s$ : ..... ثابت زمانی گذرای استاتور

$u_{sx}$ : ولتاژ محور مستقیم استاتور در مختصات شار دوار

$u_{sy}$ : ولتاژ محورقائم استاتور در مختصات شار دوار

$\overline{u}_s$ : فازور فضایی ولتاژ استاتور

$\overline{u}_r$ : فازور فضایی ولتاژ رتور

$\overline{u}_{s\psi r}$ : فازور فضایی ولتاژ استاتور در مختصات شار رتور

$\overline{u}_{s\psi s}$ : فازور فضایی ولتاژ استاتور در مختصات شار استاتور

$\overline{u}_{sm}$ : فازور فضایی ولتاژ استاتور در مختصات شار مغناطیس‌کنندگی

$u_{sD}$ : ولتاژ محور مستقیم استاتور در مختصات ساکن

$u_{sQ}$ : ولتاژ محورقائم استاتور در مختصات ساکن

$\overline{\Psi}_s$ : فازور فضایی شار استاتور

$\Psi_{sD}$ : مولفه‌ی مستقیم شار استاتور

$\Psi_{sQ}$ : مولفه‌ی قائم شار استاتور

$\overline{\Psi}_{s\psi r}$ : فازور فضایی شار استاتور در مختصات شار رتور

$\overline{\Psi}_r$ : فازور فضایی شار رتور

$\overline{\Psi}_{r\psi r}$ : فازور فضایی شار رتور در مختصات شار رتور

$\rho_r$ : زاویه‌ی فازور فضایی جریان مغناطیس‌کنندگی رتور نسبت به محور مستقیم مختصات ساکن

$\theta_r$ : زاویه‌ی رتور نسبت به محور مستقیم مختصات ساکن

$\omega_{mr}$ : سرعت چرخش شار رتور

$\omega_{ms}$ : سرعت چرخش شار استاتور

$\omega_m$ : سرعت چرخش شار مغناطیس‌کنندگی

$\omega_{sl}$ : سرعت لغزش شار دوار