



دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر
گروه مهندسی برق-قدرت

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق-قدرت

کنترل مستقیم گشتاور موتور القایی سه فاز با استفاده از
مبدل ماتریسی

استادان راهنما

دکتر محمد باقر بناء شریفیان

دکتر محمدرضا فیضی

استاد مشاور

دکتر ابراهیم بابائی

پژوهشگر

عبدالحمید سهرابی

بهمن ۸۶

۹۶۰۹۲

کتابخانه دانشگاه سندھ
مکتبہ سندھ

۷۷۸۹ ۷۵۷

تقدیم به

پدر، مادر، خواهر و برادران عزیزم

تشکر و قدردانی

در اینجا بر خود می‌دانم که از استاد عزیز و بزرگواریم جناب آقای دکتر محمد باقر بناء شریفیان که همواره راهنمای اینجانب در طی این پایان‌نامه بودند و در نهایت بزرگواری از هر گونه کمک و مساعدت دریغ نورزیده‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم. از استاد گرامی جناب آقای دکتر محمد رضا فیضی که در طی این پایان‌نامه از راهنمایی بنده دریغ ننموده‌اند، تشکر می‌نمایم. از جناب آقای دکتر ابراهیم بابایی که همواره از مشاوره و راهنمایی ایشان برخوردار بودم، سپاسگزارم. و از ایزد منان موفقیت و سربلندی روزافزون تمامی این عزیزان را آرزومندم.

نام خانوادگی: سهرابی		نام: عبدالحمید	
عنوان پایان‌نامه: کنترل مستقیم گشتاور موتور القایی سه فاز با استفاده از مبدل ماتریسی			
استادان راهنما: دکتر محمد باقر بناء شریفیان، دکتر محمد رضا فیضی			
استاد مشاور: دکتر ابراهیم بابائی			
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: برق	گرایش: قدرت	دانشگاه: تبریز
دانشکده: مهندسی برق و کامپیوتر	تاریخ فارغ التحصیلی: بهمن ماه ۸۶		تعداد صفحه: ۱۱۱
کلید واژه‌ها: کنترل مستقیم گشتاور، موتور القایی، بردار کلیدزنی، مبدل ماتریسی، ریپل گشتاور و شار			
چکیده			
<p>کنترل مستقیم گشتاور از روش‌های نوین کنترل موتور القایی محسوب می‌شود. ایده اصلی این روش برای یک موتور القایی، کنترل مستقل شار پیوندی و گشتاور الکترومغناطیسی به وسیله انتخاب مناسب بردارهای فضایی ولتاژ می‌باشد. در محرکه‌های مبتنی بر DTC، مقادیر لحظه‌ای شار پیوندی و گشتاور الکترومغناطیسی از روی متغیرهای ماشین در یک سیستم حلقه بسته تخمین زده می‌شود. شار پیوندی و گشتاور را می‌توان به طور مستقیم به کمک الگوریتم‌های کلیدزنی مناسب برای مبدل سیستم محرکه، کنترل کرد. این روش در مقایسه با کنترل برداری دارای مزایایی از قبیل ساختار کنترلی ساده، پاسخ دینامیکی سریع گشتاور و وابستگی کمتر به پارامترهای ماشین دارند. با وجود این مزایا، ریپل نسبتاً زیاد در گشتاور از معایب این روش محسوب می‌شود. اندازه این ریپل به عوامل مختلفی از جمله به شکل موج ولتاژ اینورتر و همچنین تغییرات سطح ولتاژ DC خازن میانی وابسته است. در محرکه‌های الکتریکی متداول، از مبدل‌های AC/AC با لینک DC استفاده می‌شود. وجود عناصر ذخیره کننده انرژی میانی در این مبدل‌ها، نه تنها باعث افزایش قابل توجه در حجم و وزن سیستم می‌شود بلکه معایبی همچون سرعت پاسخ دهی کند و ضریب توان ورودی پایین را به دنبال خواهد داشت. مبدل‌های ماتریسی به عنوان نسل جدیدی از مبدل‌های مستقیم AC/AC که نیازی به المان‌های میانی ذخیره کننده انرژی ندارند می‌توانند جایگزین بسیار مناسبی برای مبدل‌های AC/AC با لینک DC باشند. مبدل‌های ماتریسی دارای مزایایی از جمله جاری شدن دو طرفه توان الکتریکی، قابلیت کنترل ضریب توان ورودی، حجم و وزن کم، سرعت پاسخ‌دهی سریع و همچنین دارای شکل موجهای سینوسی در جریان‌های ورودی و خروجی می‌باشند. در این پایان‌نامه کنترل گشتاور موتور القایی به روش DTC با استفاده از مبدل ماتریسی، مورد مطالعه قرار گرفته و از مزایای مبدل ماتریسی و روش DTC جهت افزایش کارایی سیستم به منظور کاهش ریپل گشتاور و بهبود ضریب توان ورودی استفاده شده است.</p>			

مقدمه ۱

فصل اول: بررسی منابع

۱-۱ مقدمه	۶
۲-۱ پایه‌های ریاضی تولید پاسخ سریع گشتاور	۶
۳-۱ توصیف فیزیکی کنترل مستقیم گشتاور	۱۱
۴-۱ انتخاب بهینه بردارهای کلید زنی	۲۳
۵-۱ تخمین شار استاتور در کنترل مستقیم گشتاور	۲۶
۶-۱ مبدل ماتریسی	۲۸
۱-۶-۱ مقدمه	۲۸
۲-۶-۱ مبدل ماتریسی سه فاز (AC/AC)	۲۹
۳-۶-۱ روش تابع تبدیل	۳۱
۴-۶-۱ روش مدولاسیون بردار فضایی	۳۱
۷-۱ کنترل مستقیم گشتاور با استفاده از مبدل ماتریسی	۳۶

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۱-۲ مقدمه	۴۲
۲-۲ شبیه‌سازی DTC کلاسیک و DTC با مبدل ماتریسی	۴۲
۱-۲-۲ شبیه‌سازی DTC کلاسیک	۴۲
۲-۲-۲ شبیه‌سازی DTC با مبدل ماتریسی	۴۴
۳-۲ عملکرد حالت پایدار و دینامیکی DTC کلاسیک و DTC با مبدل ماتریسی	۴۷
۱-۳-۲ شبیه‌سازی حالت پایدار در سرعت ۱۵۰ rpm	۴۷
۲-۳-۲ شبیه‌سازی حالت دینامیکی در سرعت ۱۵۰ rpm	۵۳

۵۹	..... ۳-۳-۲ شبیه‌سازی حالت پایدار در سرعت ۷۰۰ rpm
۶۴	..... ۴-۳-۲ شبیه‌سازی حالت دینامیکی در سرعت ۷۰۰ rpm
۷۰	..... ۴-۲ عوامل موثر بر ریپل گشتاور
۷۰	..... ۲-۴-۱ زمان نمونه‌برداری
۷۱	..... ۲-۴-۲ مقدار باند هیستریزس شار و گشتاور
۷۱	..... ۲-۴-۳ سطح ولتاژ منبع DC
۷۴	..... ۲-۴-۴ مقاومت استاتور

فصل سوم: نتایج و بحث

۷۸	..... ۳-۱ مقدمه
۷۸	..... ۳-۲ تأثیر اندازه باند هیستریزس شار و گشتاور
۷۹	..... ۳-۳ محاسبه ضربان‌های گشتاور
۸۱	..... ۳-۴ محاسبه ضربان‌های شار
۸۵	..... ۳-۵ تعیین اندازه بهینه شار و گشتاور
۸۷	..... ۳-۶ شبیه‌سازی روش پیشنهادی برای DTC با مبدل ماتریسی
۸۸	..... ۳-۷ عملکرد حالت پایدار و دینامیکی روش پیشنهادی
۸۸	..... ۳-۷-۱ شبیه‌سازی حالت پایدار در سرعت ۱۵۰ rpm
۹۲	..... ۳-۷-۲ شبیه‌سازی حالت دینامیکی در سرعت ۱۵۰ rpm
۹۶	..... ۳-۷-۳ شبیه‌سازی حالت پایدار در سرعت ۷۰۰ rpm
۱۰۰	..... ۳-۷-۴ شبیه‌سازی حالت دینامیکی در سرعت ۷۰۰ rpm
۱۰۵	..... ۳-۸ نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۱۰۷	..... مراجع
۱۱۰	..... ضمیمه
۱۱۱	..... چکیده انگلیسی

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: بردارهای شار پیوندی استاتور و جریان استاتور ۸
- شکل ۱-۲: بردارهای فضایی شار پیوندی استاتور، شار پیوندی روتور و جریان استاتور ۱۲
- شکل ۱-۳: بردارهای ولتاژ اینورتر ۱۶
- شکل ۱-۴: شمای اینورتر منبع ولتاژ، هشت حالت کلیدزنی الف (VSI) حالت‌های کلیدزنی ۱۷
- شکل ۱-۷: بلوک دیاگرام DTC کلاسیک ۲۳
- شکل ۱-۸: مقایسه گر هیستریزس دو سطحی شار استاتور ۲۴
- شکل ۱-۹: مقایسه گر هیستریزس سه سطحی گشتاور ۲۴
- شکل ۱-۱۰: بلوک دیاگرام محرکه یک موتور AC ۲۸
- شکل ۱-۱۱: توپولوژی مبدل ماتریسی سه فاز به سه فاز ۲۹
- شکل ۱-۱۲: بردارهای شش ضلعی فضایی ولتاژهای خروجی ۳۵
- شکل ۱-۱۳: بلوک دیاگرام DTC با مبدل ماتریسی ۳۷
- شکل ۱-۱۴: مقایسه گر سینوس جریان و ولتاژ ورودی ۳۷
- شکل ۱-۱۵: بردار جریان ورودی خط، ب) بردار ولتاژ خط به خنثی خروجی ۳۸
- شکل ۱-۲: مدل شبیه‌سازی شده DTC کلاسیک در SIMULINK ۴۳
- شکل ۲-۲: مدل شبیه‌سازی شده کنترل کننده DTC ۴۲
- شکل ۲-۳: مدل شبیه‌سازی شده DTC با مبدل ماتریسی در SIMULINK ۴۵
- شکل ۲-۴: مدل شبیه‌سازی شده کنترل کننده DTC با مبدل ماتریسی ۴۶
- شکل ۲-۵ الف: گشتاور موتور در روش DTC کلاسیک با سرعت ۱۵۰ rpm ۴۸
- شکل ۲-۵ ب: گشتاور موتور در روش DTC با مبدل ماتریسی د سرعت ۱۵۰ rpm ۴۸
- شکل ۲-۶ الف: شار پیوندی استاتور در روش DTC کلاسیک با سرعت ۱۵۰ rpm ۴۸
- شکل ۲-۷ الف: نحوه تغییر سرعت موتور در روش DTC کلاسیک با سرعت ۱۵۰ rpm ۴۹
- شکل ۲-۶ ب: شار پیوندی استاتور در روش DTC با مبدل ماتریسی با سرعت ۱۵۰ rpm ۴۹
- شکل ۲-۷ الف: نحوه تغییر سرعت موتور در روش DTC کلاسیک با سرعت ۱۵۰ rpm ۵۰
- شکل ۲-۷ ب: نحوه تغییر سرعت موتور در روش DTC با مبدل ماتریسی با سرعت ۱۵۰ rpm ۵۰
- شکل ۲-۸ الف: جریان استاتور در روش DTC کلاسیک با سرعت ۱۵۰ rpm ۵۱
- شکل ۲-۸ ب: جریان استاتور در روش DTC با مبدل ماتریسی با سرعت ۱۵۰ rpm ۵۱
- شکل ۲-۹: ولتاژ فاز به خنثی و جریان ورودی خط در روش DTC با مبدل ماتریسی با سرعت ۱۵۰ rpm ۵۲
- شکل ۲-۱۰: ضریب توان ورودی در روش DTC با مبدل ماتریسی با سرعت ۱۵۰ rpm ۵۲
- شکل ۲-۱۱: طیف فرکانسی جریان ورودی خط ۵۲

- شکل ۲-۱۲ الف: مکان هندسی شار استاتور در روش DTC کلاسیک با سرعت ۱۵۰ rpm ۵۳
- شکل ۲-۱۲ ب: مکان هندسی شار استاتور در روش DTC با مبدل ماتریسی با سرعت ۱۵۰ rpm ۵۳
- شکل ۲-۱۳ الف: گشتاور موتور در روش DTC کلاسیک در سرعت ۱۵۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا ۸ Nm - ۵۴
- شکل ۲-۱۳ ب: گشتاور موتور در روش DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۱۵۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا ۸ Nm - ۵۴
- شکل ۲-۱۴ الف: شار پیوندی استاتور در روش DTC کلاسیک در سرعت ۱۵۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا ۸ Nm - ۵۵
- شکل ۲-۱۴ ب: شار پیوندی استاتور در روش DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۱۵۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا ۸ Nm - ۵۵
- شکل ۲-۱۵ الف: جریان استاتور در روش DTC کلاسیک در سرعت ۱۵۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا ۸ Nm - ۵۶
- شکل ۲-۱۵ ب: جریان استاتور در روش DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۱۵۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا ۸ Nm - ۵۶
- شکل ۲-۱۶ الف: نحوه تغییر سرعت موتور در روش DTC کلاسیک در سرعت ۱۵۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا ۸ Nm - ۵۷
- شکل ۲-۱۶ ب: نحوه تغییر سرعت موتور در روش DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۱۵۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا ۸ Nm - ۵۷
- شکل ۲-۱۷: ولتاژ فاز به خنثی و جریان ورودی خط در روش DTC با مبدل ماتریسی با سرعت ۱۵۰ rpm ۵۸
- شکل ۲-۱۸: ضریب توان ورودی در روش DTC با مبدل ماتریسی با سرعت ۱۵۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا ۸ Nm - ۵۸
- شکل ۲-۱۹: طیف فرکانسی جریان ورودی خط ۵۸
- شکل ۲-۲۰ الف: گشتاور موتور در روش DTC کلاسیک با سرعت ۷۰۰ rpm ۶۰
- شکل ۲-۲۰ ب: گشتاور موتور در روش DTC با مبدل ماتریسی با سرعت ۷۰۰ rpm ۶۰
- شکل ۲-۲۱ الف: شار پیوندی استاتور موتور در روش DTC کلاسیک با سرعت ۷۰۰ rpm ۶۱
- شکل ۲-۲۱ ب: شار پیوندی استاتور در روش DTC با مبدل ماتریسی با سرعت ۷۰۰ rpm ۶۱
- شکل ۲-۲۲ الف: جریان استاتور در روش DTC کلاسیک با سرعت ۷۰۰ rpm ۶۲
- شکل ۲-۲۲ ب: جریان استاتور در روش DTC با مبدل ماتریسی با سرعت ۷۰۰ rpm ۶۲
- شکل ۲-۲۳ الف: نحوه تغییر سرعت موتور در روش DTC کلاسیک با سرعت ۷۰۰ rpm ۶۳
- شکل ۲-۲۳ ب: نحوه تغییر سرعت موتور در روش DTC با مبدل ماتریسی با سرعت ۷۰۰ rpm ۶۳
- شکل ۲-۲۴: ولتاژ فاز به خنثی و جریان ورودی در روش DTC با مبدل ماتریسی با سرعت ۷۰۰ rpm ۶۴
- شکل ۲-۲۵: ضریب توان ورودی در روش DTC با مبدل ماتریسی با سرعت ۷۰۰ rpm ۶۴
- شکل ۲-۲۶: طیف فرکانسی جریان ورودی خط ۶۴

- شکل ۲-۲۷ الف: گشتاور موتور در روش DTC کلاسیک در سرعت ۷۰۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا ۸ Nm -۸ Nm ۶۵
- شکل ۲-۲۷ ب: گشتاور موتور در روش DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۷۰۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا ۸ Nm -۸ Nm ۶۵
- شکل ۲-۲۸ الف: شار پیوندی استاتور در روش DTC کلاسیک در سرعت ۷۰۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا ۸ Nm -۸ Nm ۶۶
- شکل ۲-۲۸ ب: شار پیوندی استاتور در روش DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۷۰۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا ۸ Nm -۸ Nm ۶۶
- شکل ۲-۲۹ الف: جریان استاتور در روش DTC کلاسیک در سرعت ۷۰۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا ۸ Nm -۸ Nm ۶۷
- شکل ۲-۲۹ ب: جریان استاتور در روش DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۷۰۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا ۸ Nm -۸ Nm ۶۷
- شکل ۲-۳۰ الف: نحوه تغییر سرعت موتور در روش DTC کلاسیک با سرعت ۷۰۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا ۸ Nm -۸ Nm ۶۸
- شکل ۲-۳۰ ب: نحوه تغییر سرعت موتور القایی در روش DTC با مبدل ماتریسی با سرعت ۷۰۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا ۸ Nm -۸ Nm ۶۸
- شکل ۲-۳۱: ولتاژ فاز به خنثی و جریان ورودی خط در روش DTC با مبدل ماتریسی با سرعت ۷۰۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا ۸ Nm -۸ Nm ۶۹
- شکل ۲-۳۲: ضریب توان ورودی در روش DTC با مبدل ماتریسی با سرعت ۷۰۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا ۸ Nm -۸ Nm ۶۹
- شکل ۲-۳۳: طیف فرکانسی جریان ورودی خط ۶۹
- شکل ۲-۳۴: گشتاور موتور در روش DTC کلاسیک در سرعت ۱۵۰ rpm با $U_{dc} = 240 V$ ۷۲
- شکل ۲-۳۵: شار پیوندی استاتور موتور در روش DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۱۵۰ rpm ۷۲
- $U_{dc} = 240 V$ ۷۲
- شکل ۲-۳۶: گشتاور موتور در روش DTC کلاسیک در سرعت ۱۵۰ rpm با $U_{dc} = 440 V$ ۷۳
- شکل ۲-۳۷: شار پیوندی استاتور موتور در روش DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۱۵۰ rpm ۷۳
- $U_{dc} = 440 V$ ۷۳
- شکل ۲-۳۸: گشتاور موتور در روش DTC کلاسیک در سرعت ۱۵۰ rpm با $75\% R_p$ ۷۵
- شکل ۲-۳۹: شار پیوندی استاتور در روش DTC کلاسیک در سرعت ۱۵۰ rpm با $75\% R_p$ ۷۶
- شکل ۲-۴۰: گشتاور موتور در روش DTC کلاسیک در سرعت ۱۵۰ rpm با $115\% R_p$ ۷۶
- شکل ۲-۴۱: شار پیوندی استاتور در روش DTC کلاسیک در سرعت ۱۵۰ rpm با $115\% R_p$ ۷۷

- شکل (۳-۱): تغییرات بردار شار استاتور ۸۵
- شکل ۳-۲: مدل شبیه‌سازی شده کنترل کننده DTC روش پیشنهادی ۸۸
- شکل ۳-۳: گشتاور موتور در روش پیشنهادی برای DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۱۵۰ rpm ۸۹
- شکل ۳-۴: شار پیوندی استاتور در روش پیشنهادی برای DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۱۵۰ rpm ۸۹
- شکل ۳-۵: جریان استاتور در روش پیشنهادی برای DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۱۵۰ rpm ۹۰
- شکل ۳-۶: نحوه تغییر سرعت در روش پیشنهادی برای DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۱۵۰ rpm ۹۰
- شکل ۳-۷: ولتاژ و جریان ورودی در روش پیشنهادی برای DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۱۵۰ rpm ۹۱
- شکل ۳-۸: ضریب توان ورودی در روش پیشنهادی برای DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۱۵۰ rpm ۹۱
- شکل ۳-۹: طیف فرکانسی جریان ورودی خط ۹۱
- شکل ۳-۱۰: مکان هندسی شار در روش پیشنهادی برای DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۱۵۰ rpm ۹۲
- شکل ۳-۱۱: گشتاور موتور در روش پیشنهادی برای DTC کلاسیک در سرعت ۱۵۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا -۸ Nm ۹۳
- شکل ۳-۱۲: شار پیوندی استاتور در روش پیشنهادی برای DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۱۵۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا -۸ Nm ۹۳
- شکل ۳-۱۳: جریان استاتور در روش پیشنهادی برای DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۱۵۰ rpm در تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا -۸ Nm ۹۴
- شکل ۳-۱۴: نحوه تغییر سرعت در روش پیشنهادی برای DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۱۵۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا -۸ Nm ۹۴
- شکل ۳-۱۵: نحوه تغییر سرعت در روش پیشنهادی برای DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۱۵۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا -۸ Nm ۹۵
- شکل ۳-۱۶: ضریب توان ورودی در روش پیشنهادی برای DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۱۵۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا -۸ Nm ۹۵
- شکل ۳-۱۷: طیف فرکانسی جریان ورودی خط ۹۵
- شکل ۳-۱۸: گشتاور موتور در روش پیشنهادی برای DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۷۰۰ rpm ۹۶
- شکل ۳-۱۹: شار پیوندی استاتور در روش پیشنهادی برای DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۷۰۰ rpm ۹۷
- شکل ۳-۲۰: جریان استاتور در روش پیشنهادی برای DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۷۰۰ rpm ۹۷
- شکل ۳-۲۱: تغییر سرعت موتور در روش پیشنهادی برای DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۷۰۰ rpm ۹۸
- شکل ۳-۲۲: ولتاژ فاز و جریان در روش پیشنهادی برای DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۷۰۰ rpm ۹۸
- شکل ۳-۲۳: ضریب توان ورودی در روش پیشنهادی برای DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۱۵۰ rpm ۹۹
- شکل ۳-۲۴: طیف فرکانسی جریان ورودی خط ۹۹
- شکل ۳-۲۵: مکان هندسی شار استاتور در روش DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۷۰۰ rpm ۱۰۰

- شکل ۳-۲۶: گشتاور موتور در روش پیشنهادی برای DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۷۰۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا -۸ Nm ۱۰۱
- شکل ۳-۲۷: شار پیوندی استاتور در روش پیشنهادی برای DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۷۰۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا -۸ Nm ۱۰۲
- شکل ۳-۲۸: جریان استاتور در روش پیشنهادی برای DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۷۰۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا -۸ Nm ۱۰۲
- شکل ۳-۲۹: نحوه تغییر سرعت موتور در روش پیشنهادی برای DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۷۰۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا -۸ Nm ۱۰۳
- شکل ۳-۳۰: ولتاژ فاز و جریان ورودی در روش پیشنهادی برای DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۷۰۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا -۸ Nm ۱۰۳
- شکل ۳-۳۱: ضریب توان ورودی در روش DTC با مبدل ماتریسی در سرعت ۷۰۰ rpm با تغییرات پله گشتاور از ۸ Nm تا -۸ Nm ۱۰۴
- شکل ۳-۳۲: طیف فرکانسی جریان ورودی خط ۱۰۴

فهرست جداول

- جدول ۱-۱: جدول کلیدزنی بهینه ۲۵
- جدول ۲-۱: نحوه محاسبه موقعیت بردار شار استاتور ۲۶
- جدول ۳-۱: مدهای کاری مختلف برای مبدل ماتریسی 3×3 ۳۴
- جدول ۴-۱: حالت‌های فعال و صفر مبدل ماتریسی ۴۰
- جدول ۵-۱: جدول کلیدزنی DTC با استفاده از مبدل ماتریسی ۴۱
- جدول ۱-۳: مقایسه تلفات مبدل‌ها در روش DTC کلاسیک، روش DTC با مبدل ماتریسی و روش پیشنهادی ۱۰۵
- جدول ۲-۳: THD برای جریان ورودی خط ۱۰۵

مقدمه

به طور کلی محرکه‌های موتور القایی مبتنی بر کنترل گشتاور برای کاربردهای با کارایی بالا، به دو

دسته تقسیم می‌شوند:

- محرکه‌های مبتنی بر کنترل برداری (FOC^۱)

- محرکه‌های مبتنی بر کنترل مستقیم گشتاور (DTC^۲)

محرکه‌های FOC در حدود ۳۰ سال پیش توسط محققان آلمانی معرفی و ارائه شدند [۱]. از معایب عمده سیستم‌های FOC پیچیدگی، و حساسیت آن به پارامترهای ماشین است. مطالعات بعدی منجر به ارائه و معرفی روش کنترل مستقیم گشتاور در سال ۱۹۸۵ شد. این کار توسط دانشمندان ژاپنی و آلمانی صورت گرفت [۲ و ۳]. در این روش امکان کنترل مستقیم شار پیوندی استاتور (یا روتور و یا فاصله هوایی) و گشتاور الکترومغناطیسی با انتخاب بردارهای مناسب ولتاژ در هر دوره نمونه برداری وجود دارد. این انتخاب به خطای شار پیوندی و گشتاور الکترومغناطیسی وابسته است. مقادیر شار پیوندی و گشتاور موتور در حد مقادیر از پیش تعیین شده آنها کنترل می‌شود. این روش نسبت به کنترل برداری ساده بوده و قادر به کنترل خیلی سریع شار پیوندی و گشتاور الکترومغناطیسی می‌باشد. از جمله

مزایای مهم DTC می‌توان موارد زیر را نام برد:

- عدم نیاز به تبدیلات هم‌پایه

- عدم نیاز به مدولاسیون PWM

^۱-Field Oriented Control

^۲-Direct Torque Control

- عدم نیاز به کنترل کننده جریان
- عدم نیاز به مدارهای جداکننده ولتاژ
- پاسخ سریع و مقاوم گشتاور

از طرفی این روش دارای معایبی از قبیل میزان ریپل نسبتاً زیاد گشتاور و تغییر فرکانس کلیدزنی براساس دامنه باند هیستریزس و نیز سرعت موتور می باشد. همچنین وجود اتصالات میانی (خازن و سلف) که حجم محرکه را افزایش می دهد، یکی دیگر از معایب آن است. عوامل موثر بر ریپل گشتاور عبارتند از:

- مقدار باند هیستریزس مقایسه گرهای گشتاور الکترومغناطیسی و شار استاتور
- زمان نمونه برداری
- سطح ولتاژ منبع DC
- مقاومت استاتور

مبدل های ماتریسی سه فاز در سال های اخیر به دلیل مزایای آن نسبت به مبدل های رایج الکترونیک قدرت، جایگزین مناسبی برای این مبدل ها شده است. مبدل های ماتریسی سه فاز به سه فاز از ۹ کلید تشکیل شده است. با فرض ایده آل بودن کلیدها، توان لحظه ای ورودی مبدل ماتریسی بایستی با توان لحظه ای خروجی برابر باشد، با این حال زاویه فاز بین ولتاژها و جریان ها در ورودی می تواند کنترل شود و اجباری نیست که شبیه خروجی باشد [۴]. در مبدل های ماتریسی شکل موج و فرکانس در دو طرف ورودی و خروجی مستقل از یکدیگر می باشند. مزایای عمده مبدل های ماتریسی عبارتند از:

- امکان جاری شدن دو طرفه توان

- شکل موج سینوسی در ورودی و خروجی

- عدم نیاز به اتصالات میانی جهت ذخیره انرژی

دو روش متفاوت برای کنترل مبدل‌های ماتریسی وجود دارد که عبارتند از:

- روش تابع تبدیل (Transfer Function)

- روش مستقیم (Direct Method)

روش اول براساس تحلیل تابع تبدیل مبدل ماتریسی کار می‌کند. روش دوم نیز براساس

مدولاسیون بردار فضایی (Space Vector Modulation: SVM) پایه‌ریزی شده است [۵]. این روش

دارای مزایای زیادی نسبت به روش اول می‌باشد. الگوریتم کنترل ساده و نسبت تبدیل ولتاژ حداکثر

بدون اضافه کردن مولفه هارمونیک سوم، از جمله مزایای این روش است.

با ترکیب روش DTC و مبدل ماتریسی می‌توان از مزیت‌های هر دو در سیستم محرکه بهره برد.

در مبدل ماتریسی که به روش بردار فضایی کنترل می‌شود تعداد حالت‌های کلیدزنی بیشتر از اینورترهای

منبع ولتاژ است. انتخاب حالت‌های متفاوت کلیدزنی با استفاده از جدول کلیدزنی که از قبل تعیین شده

است، صورت می‌گیرد. برای انتخاب مقادیر این جدول از خروجی سه بانده هیستریزس (خطای شار

پیوندی استاتور، گشتاور الکترومغناطیسی و ضریب توان ورودی) استفاده می‌شود [۶].

در فصل اول این پایان‌نامه ابتدا اصول کلی کنترل مستقیم گشتاور را که در محرکه‌های با کارایی

بالا به کار می‌رود را به صورت تفصیلی بررسی کرده، در ادامه اصول کلی مبدل‌های ماتریسی سه‌فازه را

به صورت مختصر بیان و روش‌های کنترلی آن را بیان کرده و در انتهای فصل کنترل مستقیم گشتاور با

استفاده از مبدل ماتریسی توضیح داده شده است. در فصل دوم، ابتدا شبیه‌سازی مدل DTC کلاسیک و DTC با استفاده از مبدل ماتریسی در شرایط کاری متفاوت موتور انجام شده و نتایج حاصل از آن مورد بررسی قرار گرفته شده است. سپس عوامل موثر بر ریپل گشتاور در روش کنترل مستقیم گشتاور بررسی و نتایج شبیه‌سازی آن نیز آورده شده است. پس از آن، در فصل سوم تحلیل ریاضی بر ضربان‌های گشتاور و شار صورت گرفته شده است و یک رابطه ریاضی بر پهنای مقایسه‌گر هیستریزس بهینه ارائه شده و با توجه با آن سیستم پیشنهادی برای DTC با استفاده از مبدل ماتریسی ارائه شده که نتایج شبیه‌سازی صحت سیستم پیشنهادی را مورد تأیید قرار می‌دهد. در پایان، نتیجه‌گیری کلی و همچنین پیشنهادی برای ادامه کار بیان شده است.

فصل اول

بررسی منابع

۱-۱ مقدمه

روش کنترل مستقیم گشتاور ابتدا توسط دینبرک و تاکاهاشی در سال ۱۹۸۵ به صورت جداگانه مطرح شد. دینبرک روشی ارائه کرد تا بتوان با کنترل فرکانس کلیدزنی اینورتر با کمترین تعداد کلیدزنی، مقدار تلفات اینورتر را به کمترین حد رساند. در عین حال، در این روش کنترل شار استاتور و کنترل گشتاور الکترومغناطیسی موتور به صورت جداگانه صورت می‌گیرد [۷]. از طرف دیگر، تاکاهاشی نیز روشی ارائه کرد تا بتوان با کنترل سرعت چرخش بردار شار استاتور، پاسخ بسیار سریعی برای گشتاور به دست آورد [۳]. امروزه، با تلفیق این دو روش، روش کنترل مستقیم گشتاور به دنیا ارائه شده که بیش از بیست سال از عمر آن می‌گذرد [۷]. این روش در چند سال اخیر علاقه‌مندان بسیار زیادی پیدا کرده است.

روشهای تخمین شار، نحوه انتخاب بهینه موقعیت کلیدهای قدرت، کاهش ضربان‌های شار و گشتاور، تضعیف میدان مغناطیسی، تأثیر اندازه باندهای هیستریزیس، روش‌های پیش‌بینی کلیدزنی‌های اینورتر و روش‌های هوشمند پیاده‌سازی کنترل مستقیم گشتاور موضوعات مورد مطالعه در دهه اخیر بوده‌اند.

۱-۲ پایه‌های ریاضی تولید پاسخ سریع گشتاور

در یک محرکه الکتریکی کنترل مستقیم گشتاور موتور القایی، که به وسیله یک اینورتر منبع ولتاژ تغذیه می‌شود، کنترل شار استاتور (یا شار روتور، یا شار فاصله هوایی) و کنترل گشتاور الکترومغناطیسی به صورت مستقیم، و با انتخاب بردارهای مناسب ولتاژ انجام می‌شود. انتخاب

موقعیت کلیدهای قدرت به گونه‌ای است که خطای شار و گشتاور در محدوده مجاز باندهای هیسریس ثابت باقی بماند، پاسخ گشتاور خیلی سریع باشد، فرکانس کلیدزنی اینورتر کم باشد، تلفات کلیدزنی اندک باشد و تلفات هارمونیک در حداقل مقدار خود بماند. در این فصل، جزئیات اصول کنترل مستقیم گشتاور مورد بحث قرار می‌گیرد. در تمامی مباحث این فصل روش کنترل مستقیم گشتاوری مطالعه می‌شود که در آن، شار پیوندی استاتور تحت کنترل سیستم محرکه الکتریکی است. لازم به ذکر است که با وجود اصول کنترل یکسان در DTC بجای کنترل شار استاتور، می‌توان شار روتور و یا شار فاصله هوایی را تحت کنترل قرار داد. کنترل مستقیم گشتاور پاسخ سریع گشتاور به همراه سهولت در پیاده سازی سیستم کنترل موتورهای القایی را ارائه می‌دهد. برای درک بهتر این روش جدید، اصول و مسائل مهم آن در این فصل به تفصیل بررسی می‌گردد.

در حالت کلی در یک ماشین القایی سه فاز متقارن، گشتاور الکترومغناطیسی متناسب است با

حاصلضرب برداری، بردار شار پیوندی استاتور در بردار جریان استاتور:

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{p}{2} \bar{\Psi}_s \times \bar{i}_s \quad (1-1)$$

که $\bar{\Psi}_s$ در آن بردار شار پیوندی استاتور و \bar{i}_s بردار جریان استاتور و p تعداد قطب است. در

معادله (1-1) هر دو بردار شار و جریان در مختصات ساکن بیان می‌شوند. با این فرض که

$$\bar{\Psi}_s = |\bar{\Psi}_s| \exp(j\rho_s)$$

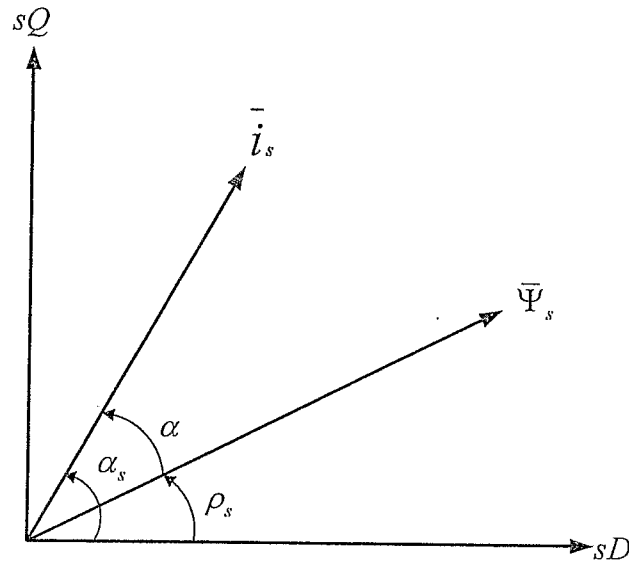
(شکل 1-1)، و $\bar{i}_s = |\bar{i}_s| \exp(j\alpha_s)$ می‌توان معادله گشتاور الکترومغناطیسی را بدین صورت تعریف

کرد:

$$T_e = \frac{3}{2} p |\bar{\Psi}_s| |\bar{i}_s| \sin(\alpha_s - \rho_s) = \frac{3}{2} |\bar{\Psi}_s| |\bar{i}_s| \sin \alpha \quad (2-1)$$

که $\alpha = \alpha_s - \rho_s$ زاویه بین بردار شار پیوندی استاتور و بردار جریان استاتور می‌باشد.

برای یک سرعت ثابت روتور، اگر اندازه بردار شار پیوندی استاتور ثابت باشد، با تغییر زاویه ρ_s ، گشتاور الکترومغناطیسی به سرعت تغییر خواهد کرد. اثبات ریاضی این مطلب و نیز اثبات ساده‌تری براساس تحلیل فیزیکی مطلب در قسمت بعد ارائه می‌گردد.



شکل ۱-۱: بردارهای شار پیوندی استاتور و جریان استاتور

معادله شار استاتور در موتورهای القایی عبارت است از $\bar{\Psi}_s = L_s \bar{i}_s + L_m \bar{i}_r$. در شرایطی که اندازه بردار $\bar{\Psi}_s$ ثابت است، مقدار جریان مغناطیسی کننده نیز ثابت بوده و از معادله شار استاتور برابر است با:

$$\bar{i}_m = \frac{\bar{\Psi}_s}{L_s} = \bar{i}_s + \frac{L_m}{L_s} \bar{i}_r \quad (3-1)$$

می‌توان \bar{i}_m را در مختصات قطبی بدین صورت نمایش داد: $\bar{i}_m = |\bar{i}_m| \exp(j\theta_m)$ که θ_m زاویه بین بردار \bar{i}_m و محور d در مختصات ساکن است. معادله ولتاژ روتور را نیز در مختصات ساکن می‌توان بدین صورت نمایش داد: