



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد در مهندسی برق - قدرت

بهبود روش کنترل DTC در موتورهای القایی با استفاده از اینورتر منبع امپدانس

استاد راهنما

دکتر رادان

نگارش

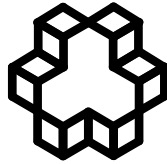
اکبر ترکاشوند

اردیبهشت ماه ۸۹

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم بہ

تمام کسانی کہ بہ جامی نفرین کردن
تاریکی ہا، در پی روشن کردن شمعی،
ہر چند کوچک ہستند۔



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده برق

تأییدیه هیات داوران

هیئت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان

" بهبود روش کنترل در DTC موتورهای القایی با استفاده از اینورتر منبع
امپدانس "

توسط آقای اکبر ترکاشوند صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در

رشته: برق گرایش: قدرت بارتبه مورد تأیید قرار می دهند.

امضاء

..... آقای دکتر احمد رادان
.....
۱-استاد راهنما

امضاء

..... آقای دکتر عباس شولایی
.....
۲-ممتحن خارجی

امضاء

..... آقای دکتر علی عابدینی
.....
۳-ممتحن داخلی

امضاء

..... آقای دکتر علی عابدینی
.....
۴-نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده

اظهار نامه دانشجو

موضوع پایان نامه :

بهبود روش کنترل DTC در موتورهای القایی با استفاده از اینورتر منبع امپدانس

استاد راهنما: دکتر احمد رادان

نام دانشجو: اکبر ترکشوند

شماره دانشجویی: ۸۶۰۰۷۹۴

اینجانب اکبر ترکشوند دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق گرایش قدرت دانشکده برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تأیید می باشد، و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است . بعلاوه گواهی می نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب(فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ :

فرم حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها باموافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.

ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

تقدیر و تشکر

بر خود لازم می دانم که از استاد راهنمای این پایان نامه، آقای دکتر احمد رادان، که در پیشنهاد موضوع، پیشبرد پایان نامه و تصحیح متن آن و آقای مهندس علیرضا جهانگیری، که با راهنمایی های بی شائبه خود من را یاری نمودند نهایت تشکر و قدردانی را بنمایم. در پایان باید ذکر کنم، اگر احساس کردید که نیاز به دانستن جزئیات بیشتر در مورد این پروژه هستید، می توانید از طریق تارنمای زیر ارتباط برقرار نمایید.

Akbar.torkashvand@ee.kntu.ac.ir

چکیده

در حدود یک دهه قبل، روش کنترلی DTC معرفی شد. این روش، ساختار کنترلی ساده و کارایی بالا و حساسیت کمتری نسبت به تغییر پارامترهای موتور دارد. یکی از مشکلات درایوهای الکتریکی در سیستم قدرت، افت ولتاژ طولانی مدت تغذیه است، که بر روی عملکرد درایو تاثیر منفی دارد. DTC نیز از این مشکل مبرا نیست و حتی حساسیت زیادی به افت ولتاژ منبع تغذیه دارد، به طوریکه با کاهش ولتاژ منبع تغذیه عملکردش دچار نقصان شدید می‌شود. برای جبران این عملکرد نامطلوب، می‌توان با استفاده از مدارات افزایش دهنده DC/DC و اینورتر منبع ولتاژ این مشکل را برطرف نمود. اما استفاده از این روشها منجر به افزودن یک طبقه DC/DC به اینورتر و پایین آمدن بازده می‌شود. در سالهای اخیر یک اینورتر جدید معرفی شده است، که خاصیت افزایش دهنده ولتاژ DC را نیز دارد. پروژه مذکور با انگیزه استفاده از اینورتر منبع امپدانس برای مرتفع کردن نقصان عملکرد DTC با اینورتر منبع ولتاژی در هنگام افت ولتاژ لینک DC تعریف شده است. با در نظر گرفتن این اهداف ابتدا به معرفی روش کنترلی DTC و اینورتر منبع امپدانس پرداخته و سپس اثر اعمال بردارهای ولتاژ با لینک DC متغیر بر روی تغییرات شار و گشتاور بیان شده است. در ادامه مشکلات ناشی از کاهش ولتاژ لینک DC در روش کنترلی DTC با اینورتر منبع ولتاژی بیان شده و دو روش کنترل فیدفوروارد و فیدبک اینورتر منبع امپدانس، برای استفاده در DTC بیان شده است. با بکار بردن این دو روش نشان داده شده است که می‌توان عملکرد نامطلوب DTC با اینورتر منبع ولتاژ را در هنگام افت ولتاژ لینک DC مرتفع کرد. همچنین نشان داده شده که با دو روش استفاده از مدارات کلمپ و استفاده از اینورتر منبع امپدانس با قابلیت بازیافت انرژی، می‌توان انرژی موتور در حالت ترمزی را بازیافت نمود.

کلمات کلیدی :

کنترل مستقیم گشتاور - اینورتر منبع امپدانس - موتور القایی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ح	چکیده
ز	لیست شکل ها
ظ	لیست جداول
۲	فصل اول : مقدمه
۲	۱-۱ مقدمه
۵	فصل دوم : اینورتر منبع امپدانس
۵	۱-۲ مقدمه:
۵	۲-۲ اینورتر منبع ولتاژی
۶	۳-۲ اینورتر منبع جریان‌ی
۷	۴-۲ اینورتر منبع امپدانس
۸	۱-۴-۲ تحلیل اینورتر منبع امپدانس:
۸	۱-۴-۲-۱ اصول عملکرد و آنالیز مداری:
۱۰	۲-۴-۲-۱ راه اندازی اینورتر منبع امپدانس
۱۲	۳-۴-۲-۱ حالت عملکرد بدون بوست:
۱۴	۴-۴-۲-۱ حالت عملکرد بوست:
۱۸	۲-۴-۲ انواع توپولوژیهای اینورتر منبع امپدانس

- ۲-۴-۳ مزایا و معایب اینورتر منبع امپدانس ۲۰
- ۲-۴-۴ مرتفع ساختن مشکلات اینورتر منبع امپدانس ۲۰
- ۲-۴-۵ کاربرد های ZSI: ۲۹
- فصل سوم: بررسی اثر بردارهای ولتاژ با دامنه‌ی متغیر بر روی تغییرات شار و گشتاور..... ۳۳
- ۳-۱ مقدمه ۳۳
- ۳-۲ استخراج معادله تغییرات شار ماشین را بر حسب دو متغیر ولتاژ لینک DC و θ ۳۶
- ۳-۳ پریونیت کردن معادله تغییرات شار ماشین را بر حسب دو متغیر ولتاژ لینک DC و θ : ۳۷
- ۳-۳-۱ تحلیل معادله تغییرات پریونیت شده شار ماشین ۳۷
- ۳-۴ نتایج شبیه سازی تغییرات پریونیت شده شار ماشین ۳۸
- ۳-۴-۱ نتایج شبیه سازی برای سلکتور اول و برای بردار $V1$ ۳۸
- ۳-۴-۲ نتایج شبیه سازی شار برای سلکتور اول و برای بردار $V2$: ۳۹
- ۳-۴-۳ نتیجه گیری در مورد اثر بردارهای ولتاژ بر تغییرات شار: ۴۱
- ۳-۵ استخراج معادله تغییرات گشتاور ماشین را بر حسب دو متغیر ولتاژ لینک ۴۱
- ۳-۶ پریونیت کردن معادله تغییرات گشتاور ماشین را بر حسب دو متغیر ولتاژ لینک DC و θ : ۴۲
- ۳-۷ رابطه تعیین کننده مرز جداکننده اثر افزایشی و کاهش‌ی بردارهای ولتاژ بر روی گشتاور: ۴۳
- ۳-۸ نتایج شبیه سازی تغییرات پریونیت شده گشتاور ماشین ۴۴
- ۳-۸-۱ نتایج شبیه سازی برای سلکتور اول و برای بردار $V3$: ۴۴
- ۳-۹ جدول اثر بردارهای ولتاژ بر تغییرات شار و گشتاور در سکتور اول ۴۶
- ۳-۱۰ اثر بردارهای ولتاژ بر تغییرات شار و گشتاور در دیگر سکتورها ۴۷

فصل چهارم : شبیه سازی DTC با ZSI و بهبود روش کنترل و شبیه سازی روش بهبود یافته.....	۵۱
۱-۴ مقدمه.....	۵۱
۲-۴ عملکرد DTC با اینورتر منبع ولتاژی در شرایط نامی.....	۵۱
۳-۴ عملکرد نامطلوب DTC با اینورتر منبع ولتاژ در شرایط افت ولتاژ لینک DC.....	۵۳
۴-۴ بهبود عملکرد نامطلوب درایو با استفاده از اینورتر منبع امپدانس.....	۵۴
۱-۴-۴ تشخیص حالت عملکردی موتور.....	۵۶
۲-۴-۴ روش اعمال بوست به صورت فیدفوروارد.....	۵۶
۳-۴-۴ روش اعمال بوست به صورت فیدبک.....	۵۹
۴-۴-۴ کنترل حداکثر ولتاژ لینک DC:.....	۶۲
۵-۴-۴ استراتژی اعمال حالت اتصال کوتاه.....	۶۳
فصل پنجم : راه‌های پیشنهادی برای بازیافت انرژی در حالت ترمزی.....	۶۶
۱-۵ مقدمه :.....	۶۶
۲-۵ استفاده از مدارات کلمپ.....	۶۶
۳-۵ استفاده از اینورتر منبع امپدانس با قابلیت بازیافت انرژی.....	۶۸
فصل ششم : نتایج و پیشنهادات.....	۷۲
۱-۶ نتایج.....	۷۲
۲-۶ پیشنهادات.....	۷۳
پیوست الف: طراحی شبکه امپدانس.....	۷۴

پیوست ب: اثر اعمال بردارهای ولتاژ با دامنه متغیر بر تغییرات شار و گشتاور..... ۷۷

مراجع لاتین:..... ۸۹

مراجع فارسی:..... ۹۱

لیست شکل ها

- شکل ۱-۲: اینورتر منبع ولتاژی ۵
- شکل ۲-۲: اینورتر منبع جریانی ۶
- شکل ۳-۲: ساختار اولیه اینورتر منبع امپدانس ۷
- شکل ۴-۲: اینورتر منبع امپدانس با بار ۹
- شکل ۵-۲: ولتاژ لینک DC ۹
- شکل ۶-۲: الف) ولتاژ خط بار ب) جریان خط بار ۱۰
- شکل ۷-۲: نمودار جریانها و ولتاژهای شبکه امپدانس در شرایط اولیه صفر ۱۱
- شکل ۸-۲: حالت عملکردی غیر اتصال کوتاه لینک DC و مسیرهای عبور جریان در این حالت ۱۱
- شکل ۹-۲: نمودار جریانها و ولتاژهای شبکه امپدانس در شرایط اولیه نامی ۱۲
- شکل ۱۰-۲: حالت عملکردی غیر اتصال کوتاه لینک DC ۱۳
- شکل ۱۱-۲: شکل موجهای خطی شده، در یک سیکل سوئیچینگ الف) ولتاژ خازن ب) جریان سلف ۱۳
- شکل ۱۲-۲: حالت عملکرد بوست ۱۴
- شکل ۱۳-۲: دو مسیر عبور جریان در حالت عملکرد بوست ۱۵
- شکل ۱۴-۲: نمودار مقدار بوست بر حسب نسبت اتصال کوتاه ۱۶
- شکل ۱۵-۲: نمودارهای ولتاژ و جریان لحظهای الف) ولتاژ خازن ب) جریان خازن پ) ولتاژ سلف
ت) جریان سلف ۱۷
- شکل ۱۶-۲: اینورتر منبع امپدانس با سلفهای تزویج ۱۸
- شکل ۱۷-۲: ساختار سلف های تزویج ۱۹
- شکل ۱۸-۲: اینورتر منبع امپدانس دو جهته ۱۹
- شکل ۱۹-۲: افزایش ولتاژ لینک DC در حالت کم باری ۲۰

- شکل ۲-۲۰ : اینورتر منبع امپدانس اصلاح شده..... ۲۱
- شکل ۲-۲۱ : اینورتر منبع امپدانس اصلاح شده در حالت عملکردی اول (الف) جریان بار مثبت (ب) جریان بار منفی..... ۲۱
- شکل ۲-۲۲ : اینورتر منبع امپدانس اصلاح شده در حالت عملکردی دوم..... ۲۲
- شکل ۲-۲۳ : اینورتر منبع امپدانس اصلاح شده در حالت عملکردی سوم..... ۲۲
- شکل ۲-۲۴ : اینورتر منبع امپدانس اصلاح شده در حالت عملکردی چهارم..... ۲۳
- شکل ۲-۲۵ : اینورتر منبع امپدانس اصلاح شده در حالت عملکردی پنجم..... ۲۳
- شکل ۲-۲۶ : اینورتر منبع امپدانس اصلاح شده در حالت عملکردی ششم..... ۲۴
- شکل ۲-۲۷ : اینورتر منبع امپدانس اصلاح شده در حالت عملکردی هفتم..... ۲۴
- شکل ۲-۲۸ : وضعیت سوئیچینگ سوئیچ $SW7$ ۲۴
- شکل ۲-۲۹ : ولتاژ لینک DC (الف) اینورتر منبع امپدانس مرسوم (ب) اینورتر منبع امپدانس اصلاح شده... ۲۵
- شکل ۲-۳۰ : جریان سلف (الف) اینورتر منبع امپدانس مرسوم (ب) اینورتر منبع امپدانس اصلاح شده..... ۲۵
- شکل ۲-۳۱ : حالت‌های عملکردی اینورتر منبع امپدانس در حالت بی باری..... ۲۷
- شکل ۲-۳۲ : اینورتر منبع امپدانس بهبود یافته..... ۲۸
- شکل ۲-۳۳ : مدار معادل اینورتر منبع امپدانس بهبود یافته (الف) حالت غیر اتصال کوناه (ب) حالت اتصال کوتاه..... ۲۸
- شکل ۲-۳۴ : نسبت ولتاژ خازن به ولتاژ خروجی برای هر دو اینورتر بحث شده..... ۲۹
- شکل ۲-۳۵ : اینورتر منبع جریانی برای موتور درایو..... ۳۰
- شکل ۲-۳۶ : اینورتر منبع جریانی برای موتور درایو اصلاح شده..... ۳۰
- شکل ۲-۳۷ : اینورتر منبع ولتاژی برای موتور درایو..... ۳۱
- شکل ۲-۳۸ : اینورتر منبع امپدانس برای موتور درایو..... ۳۱

- شکل ۳-۱: بلوک دیاگرام کلی روش DTC بر پایه جدول سوئیچینگ ۳۴
- شکل ۳-۲: بردارهای فضایی ولتاژ برای یک اینورتر منبع ولتاژ سه فاز ۳۶
- شکل ۳-۳: تاثیر اعمال بردار ولتاژ $V1$ بر شار استاتور در سکتور اول ۳۸
- شکل ۳-۴ (الف): تغییرات شار بر حسب دو متغیر ولتاژ لینک DC و θ ، ناشی از اعمال بردار ولتاژ $V6$ در سکتور اول (ب) نمودار میزان اثر بردار ولتاژ بر شار استاتور ۳۹
- شکل ۳-۵: تاثیر اعمال بردار ولتاژ $V2$ بر شار استاتور در سکتور اول ۳۹
- شکل ۳-۶: نمودار سه بعدی تغییرات شار بر حسب دو متغیر ولتاژ لینک DC و θ ، ناشی از اعمال بردار ولتاژ $V2$ در سکتور اول ۴۰
- شکل ۳-۷: نمودار میزان اثر بردار ولتاژ $V2$ بر شار استاتور در سکتور اول ۴۰
- شکل ۳-۸: اثر اعمال بردار ولتاژ $V3$ بر روی گشتاور با بیشترین ولتاژ لینک DC پیرونیته شده ۴۴
- شکل ۳-۹ (الف): تغییرات گشتاور بر حسب دو متغیر ولتاژ لینک DC و θ ، ناشی از اعمال بردار ولتاژ $V3$ در سکتور اول (ب) ناحیه اثر بردار ولتاژ بر تغییرات گشتاور ۴۵
- شکل ۳-۱۰ (الف): تغییرات شار ناشی از اعمال بردار ولتاژ $V5$ در سکتور اول (ب) تغییرات گشتاور ناشی از اعمال بردار ولتاژ $V2$ در سکتور چهارم ۴۷
- شکل ۳-۱۱ (الف): تغییرات گشتاور ناشی از اعمال بردار ولتاژ $V4$ در سکتور اول (ب) تغییرات گشتاور ناشی از اعمال بردار ولتاژ $V1$ در سکتور چهارم ۴۸
- شکل ۴-۱: فرمانهای مرجع (الف) سرعت (ب) گشتاور ۵۲
- شکل ۴-۲: نمایی از عملکرد درایو در حالت عملکرد نرمال (الف) جریان استاتور (ب) سرعت موتور (پ) گشتاور (ت) ولتاژ لینک DC ۵۳
- شکل ۴-۳: نمایی از عملکرد درایو در حالت عملکرد نامطلوب (الف) جریان استاتور (ب) سرعت موتور (پ) گشتاور ۵۴
- شکل ۴-۴: عملکرد DTC با اینورتر منبع امپدانس (الف) سرعت موتور (ب) گشتاور (پ) ولتاژ لینک DC ۵۵
- شکل ۴-۵: تشخیص وضعیت عملکردی موتور ۵۶

- شکل ۴-۶: یک دوره تناوب موج دندان ارهای ۵۷
- شکل ۴-۷: کنترل بوست به صورت فید فوروارد ۵۸
- شکل ۴-۸: نمایی از عملکرد درایو در حالت عملکرد مطلوب الف) سرعت موتور ب) گشتاور پ) ولتاژ
لینک DC ۵۹
- شکل ۴-۹: کنترل بوست به صورت فیدبک ۶۰
- شکل ۴-۱۰: نمایی از عملکرد درایو در حالت عملکرد نامطلوب الف) سرعت موتور ب) گشتاور پ) ولتاژ
لینک DC ۶۱
- شکل ۴-۱۱: افزایش ولتاژ ناخواسته لینک DC ۶۲
- شکل ۴-۱۲: محدود کننده ولتاژ بوست در کنترل به صورت فیدبک ۶۲
- شکل ۴-۱۳: اصلاح افزایش ولتاژ ناخواسته لینک DC ۶۳
- شکل ۴-۱۴: حالت‌های ایجاد اتصال کوتاه ۶۳
- شکل ۴-۱۵: بردار ایجاد اتصال کوتاه هنگام اعمال بردار ولتاژ $V1$ ۶۴
- شکل ۴-۱۶: بردار ایجاد اتصال کوتاه هنگام اعمال بردار های ولتاژ ۶۴
- شکل ۵-۱: مدار کلمپ برای بازیافت انرژی ۶۶
- شکل ۵-۲: مسیر کلمپ در مدار کلمپ ۶۷
- شکل ۵-۳: جریان منبع ولتاژ هنگام بازیافت انرژی ۶۷
- شکل ۵-۴: اصلاح مدار کلمپ ۶۸
- شکل ۵-۵: گشتاور مرجع و موتور هنگام بازیافت انرژی ۶۸
- شکل ۵-۶: اینورتر منبع امپدانس با قابلیت بازیافت انرژی ۶۹
- شکل ۵-۷: الف) سرعت موتور ب) سیگنال کنترل سوئیچ $D0$ ۶۹
- شکل ۵-۸: جریان منبع ولتاژ هنگام بازیافت انرژی ۷۰

- شکل ۹-۵: گشتاور مرجع و موتور هنگام بازیافت انرژی ۷۰
- شکل الف-۱: الف) ریپل جریان سلف ب) ریپل ولتاژ خازن ۷۴
- شکل ب-۱: تاثیر اعمال بردار ولتاژ $V3$ بر شار استاتور در سکتور اول با بیشترین ولتاژ لینک DC پریونیت شده ۷۷
- شکل ب-۲: نمودار سه بعدی تغییرات شار بر حسب دو متغیر ولتاژ لینک DC و θ ناشی از اعمال بردار ولتاژ $V3$ در سکتور اول ۷۷
- شکل ب-۳: نمودار میزان اثر بردار ولتاژ $V3$ بر شار استاتور در سکتور اول ۷۸
- شکل ب-۴: تاثیر اعمال بردار ولتاژ $V4$ بر شار استاتور در سکتور اول با بیشترین ولتاژ لینک DC پریونیت شده ۷۸
- شکل ب-۵: نمودار سه بعدی تغییرات شار بر حسب دو متغیر ولتاژ لینک DC و θ ناشی از اعمال بردار ولتاژ $V4$ در سکتور اول ۷۹
- شکل ب-۶: تاثیر اعمال بردار ولتاژ $V5$ بر شار استاتور در سکتور اول با بیشترین ولتاژ لینک DC پریونیت شده ۷۹
- شکل ب-۷: نمودار سه بعدی تغییرات شار بر حسب دو متغیر ولتاژ لینک DC و θ ناشی از اعمال بردار ولتاژ $V5$ در سکتور اول ۸۰
- شکل ب-۸: نمودار سه بعدی تغییرات شار بر حسب دو متغیر ولتاژ لینک DC و θ ناشی از اعمال بردار ولتاژ $V5$ در سکتور اول ۸۰
- شکل ب-۱۰: تاثیر اعمال بردار ولتاژ $V6$ بر شار استاتور در سکتور اول با بیشترین ولتاژ لینک DC پریونیت شده ۸۱
- شکل ب-۱۱: الف) تغییرات شار بر حسب دو متغیر ولتاژ لینک DC و θ ناشی از اعمال بردار ولتاژ $V6$ در سکتور اول ب) نمودار میزان اثر بردار ولتاژ بر شار استاتور ۸۲
- شکل ب-۱۲: اثر اعمال بردار ولتاژ $V1$ بر روی گشتاور با بیشترین ولتاژ لینک DC پریونیت شده ۸۲
- شکل ب-۱۳: الف) تغییرات گشتاور بر حسب دو متغیر ولتاژ لینک DC و θ ناشی از اعمال بردار ولتاژ $V6$ در سکتور اول ب) ناحیه اثر بردار ولتاژ بر گشتاور ۸۳

شکل ب-۱۴ : اثر اعمال بردار ولتاژ V_2 بر روی گشتاور با بیشترین ولتاژ لینک DC پریونیت شده..... ۸۳

شکل ب-۱۵ : الف) تغییرات گشتاور بر حسب دو متغیر ولتاژ لینک DC و θ ، ناشی از اعمال بردار ولتاژ V_2 در سکتور اول ب) ناحیه اثر بردار ولتاژ بر گشتاور ۸۴

شکل ب-۱۶ : اثر اعمال بردار ولتاژ V_4 بر روی گشتاور با بیشترین ولتاژ لینک DC پریونیت شده ۸۴

شکل ب-۱۷ : تغییرات گشتاور بر حسب دو متغیر ولتاژ لینک DC و θ ، ناشی از اعمال بردار ولتاژ V_4 در سکتور اول ۸۵

شکل ب-۱۸ : اثر اعمال بردار ولتاژ V_5 بر روی گشتاور با بیشترین ولتاژ لینک DC پریونیت شده ۸۵

شکل ب-۱۹ : تغییرات گشتاور بر حسب دو متغیر ولتاژ لینک DC و θ ، ناشی از اعمال بردار ولتاژ V_5 در سکتور اول ۸۶

شکل ب-۲۰ : اثر اعمال بردار ولتاژ V_6 بر روی گشتاور با بیشترین ولتاژ لینک DC پریونیت شده ۸۶

شکل ب-۲۱ : تغییرات گشتاور بر حسب دو متغیر ولتاژ لینک DC و θ ، ناشی از اعمال بردار ولتاژ V_6 در سکتور اول ۸۷

جدول ۱-۲ : مقایسه اینورتر منبع جریانی و اینورتر منبع ولتاژی	۷
جدول ۱-۳: جدول سویچینگ کنترل مستقیم گشتاور دو سطحی	۳۵
جدول ۲-۳: مقدار a , b برای بردارهای ولتاژ مختلف	۳۶
جدول ۳-۳ : مشخصات موتور استفاده شده در تحلیل ریاضی	۴۳
جدول ۳-۴ : جدول اثر بردارهای ولتاژ بر روی تغییرات شار و گشتاور در سکتور اول	۴۶
جدول ۳-۵ : جدول نقش بردارهای ولتاژ بر روی تغییرات شار و گشتاور در سکتورهای مختلف	۴۸
جدول ۱-۴: مشخصات موتور مورد استفاده در شبیه سازی	۵۱

فهرست علائم و اختصارات

$\vec{\Phi}_s$	بردار شار استاتور-----
$\vec{\Phi}_r$	بردار شار روتور-----
L_m	اندوکتانس مغناطیس کنندگی-----
L_s	اندوکتانس استاتور-----
R_s	مقاومت استاتور-----
L_r	اندوکتانس روتور-----
R'_r	مقاومت روتور-----
\vec{i}_s	بردار جریان استاتور-----
\vec{i}_r	بردار جریان روتور-----
γ	زاویه بار-----
T_e	گشتاور الکترومغناطیسی-----
σ	ضریب نشتی-----
τ_r	ثابت زمانی مدار روتور-----
\vec{V}_s	ولتاژ استاتور-----
\vec{V}_k	بردار ولتاژ شماره k خروجی اینورتر-----
dT	فرمان کنترلر هیستریزس گشتاور-----
$d\Phi$	فرمان کنترلر هیستریزس شار-----
ψ_{sd}	مولفه شار استاتور در جهت محور d-----
ψ_{sq}	مولفه شار استاتور در جهت محور q-----
$U_{s\alpha}$	مولفه بردار ولتاژ در جهت محور α -----
$U_{s\beta}$	مولفه بردار ولتاژ در جهت محور β -----
$-_0$	پارامترهای با اندیس صفر نشان دهنده مقدار پارامتر در نقطه کار ماشین-----
$-_{base}$	پارامترهای با اندیس base نشان دهنده مقدار پارامتر در وضعیت نامی-----
$-_{pu}$	پارامترهای با اندیس pu نشان دهنده مقدار پارامتر به صورت پریونیت-----
$\Delta\theta$	تغییر در زاویه شار استاتور ناشی از اعمال بردار ولتاژ در زمان Δt -----
$\Delta\zeta$	تغییر در زاویه شار روتور در زمان Δt -----
$\Delta\gamma$	تغییر در زاویه بین شار استاتور و روتور ناشی از اعمال بردار ولتاژ در زمان Δt -----
ΔT_e	تغییرات گشتاور حاصل از اعمال بردار ولتاژ-----
$\Delta \Phi $	تغییرات اندازه شار حاصل از اعمال بردار ولتاژ-----