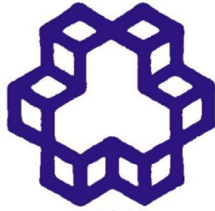


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت

مدلسازی و شبیه سازی مبدل ماتریسی غیرمستقیم دو طرفه جهت استخراج روش کنترلی

مناسب برای شرایط نامتعادل ولتاژ ورودی

توسط:

رسول نوران انباردان

استاد راهنما:

دکتر احمد رادان

تابستان ۱۳۹۲

تقدیم به

شهید محسن زیارتی و هم‌سنگران شهیدش در دفاع مقدس

شهید مصطفی احمدی روشن و شهدای علم و فن آوری

شهدای گمنام که بی نام و نشان چراغ راه هدایت ما هستند

تأییدیه هیات داوران

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه آقای: رسول نوران انباردان

را با عنوان:

مدلسازی و شبیه سازی مبدل ماتریسی غیرمستقیم دو طرفه جهت استخراج روش کنترلی مناسب برای شرایط نامتعادل ولتاژ ورودی از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد تأیید می کند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما			
۲- استاد مشاور			
۳- استاد مشاور			
۴- استاد ممتحن			
۵- استاد ممتحن			
۶- نماینده تحصیلات تکمیلی			

تشر و قدردانی

در این جا لازم است از زحمات تمام کسانی که مرا در تکمیل این پایان نامه یاری کردند تشکر کنم. از استاد گرانقدر جناب دکتر احمد رادان که در طول انجام این کار برای راهنمایی اینجانب وقت صرف کرده و با نظرات سازنده‌ی خود مرا به جلو پیش برده اند، کمال تشکر و قدردانی را می نمایم. همچنین لازم است از پدر و مادرم که مرا همیشه مورد حمایت خود قرار داده اند، سپاسگزاری ویژه ای نمایم.

چکیده

در مبدل ماتریسی به علت نبود عنصر راکتیو در لینک DC، اختلالات ولتاژ ورودی بدون واسطه به خروجی منتقل می شود. تاکنون روش‌های مختلفی برای جبران سازی این مشکل ارائه شده است که می توان آن‌ها را به روش‌های حلقه باز و حلقه بسته تقسیم کرد. در این پایان نامه عملکرد مبدل ماتریسی غیر مستقیم با روش‌های کنترل مختلف در شرایط نامتعادلی و اعوجاج ولتاژ ورودی مطالعه شده است. برای این منظور ابتدا روش‌های موجود برای مدولاسیون و کنترل مبدل ماتریسی، بررسی شده است. سپس راه کارهایی که برای جبران سازی اثر اختلالات ولتاژ ورودی به کار رفته، شرح داده شده‌اند. در ادامه با شبیه سازی یک مبدل ماتریسی که با روش کنترل پیش بین مدل کنترل شده، عملکرد این مبدل در شرایط طبیعی و غیر طبیعی ولتاژ ورودی و با توابع هزینه‌ی مختلف بررسی و توابع هزینه مناسب در هر حالت تعیین شده است. همچنین نشان داده شده که تنها با یک دسته سنسور ولتاژ، مبدل عملکرد مناسبی در شرایط غیر طبیعی ولتاژ ورودی دارد. عملکرد مبدل با فیلتر خروجی LC نیز در این شرایط بررسی شده است. برخی ویژگی‌های دیگر روش کنترل پیش بین مدل نیز بررسی شده و پیشنهادهاتی برای اصلاح و بهبود این روش ارائه شده است.

کلید واژه: مبدل ماتریسی غیر مستقیم، شرایط غیر طبیعی ولتاژ ورودی، کنترل پیش بین مدل.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
د	فهرست جدول‌ها.....
ه	فهرست شکل‌ها.....
ح	فهرست علائم و نشانه‌ها.....
۱	مقدمه.....
۱-۱-۱	پیشگفتار.....
۲-۱	روش‌های مدولاسیون و کنترل مبدل ماتریسی.....
۱-۲-۱	روش‌های اسکالر.....
۲-۲-۱	روش‌های PWM.....
۳-۲-۱	کنترل پیش‌بین.....
۳-۱	ولتاژ ورودی غیر طبیعی.....
1-3-1-۳	روش‌های حلقه باز.....
۲-۳-۱	روش‌های حلقه بسته.....
۴-۱	هدف از انجام تحقیق.....
۵-۱	ساختار گزارش.....
۶	فصل ۲- روش‌های مدل‌سازی مبدل ماتریسی.....
۱-۲	مقدمه.....
۲-۲	مدلسازی به روش کلیدزنی.....
۱-۲-۲	گسسته‌سازی مدل.....
۳-۲	مدلسازی به روش میانگین.....
۱-۳-۲	معادلات حالت در مختصات abc.....
۲-۳-۲	معادلات حالت در مختصات dqo.....
۳-۳-۲	خطی‌سازی معادلات.....
۴-۲	مدلسازی به روش لاگرانژ.....
۵-۲	نتیجه‌گیری.....
۱۶	فصل ۳- روش‌های کنترل مبدل ماتریسی.....

۱۶	مقدمه	۱-۳
۱۶	روش SVM	۲-۳
۱۷	روش MPC	۳-۳
۱۹	تابع هزینه	۱-۳-۳
۲۱	مقایسه و نتیجه گیری	۴-۳
۲۴	فصل ۴- روش های جبران سازی برای ولتاژ ورودی غیر طبیعی	
۲۴	مقدمه	۱-۴
۲۴	روش های حلقه باز	۲-۴
۲۶	روش های حلقه بسته	۳-۴
۲۸	مقایسه و نتیجه گیری	۴-۴
۳۱	فصل ۵- شبیه سازی مبدل ماتریسی با کنترل پیش بین	
۳۱	مقدمه	۱-۵
۳۱	مدل شبیه سازی شده	۲-۵
۳۳	نتایج شبیه سازی	۳-۵
۴۰	نتیجه گیری	۴-۵
۴۱	فصل ۶- بررسی و اصلاح روش MPC	
۴۱	مقدمه	۱-۶
۴۱	بررسی حساسیت روش MPC به تغییر پارامترهای بار	۲-۶
۴۲	بررسی امکان کاهش تعداد سنسورها	۳-۶
۴۵	بهبود میانگین توان راکتیو	۴-۶
۴۷	بررسی توابع هزینهی مختلف	۵-۶
۴۹	فیلتر خروجی LC	۶-۶
۴۹	مدلسازی	۱-۶-۶
۵۱	شبیه سازی	۲-۶-۶
۵۵	کنترل جریان ورودی	۳-۶-۶
۵۸	نتیجه گیری	۷-۶
۵۹	فصل ۷- نتیجه گیری و پیشنهادات	
۵۹	نتیجه گیری	۱-۷
۵۹	پیشنهادات	۲-۷

ضمیمه أ - کدهای به کار رفته در توابع شبیه سازی ۶۱

فهرست مراجع ۶۲

واژه نامه فارسی به انگلیسی ۶۷

واژه نامه انگلیسی به فارسی ۶۸

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۲۲	جدول ۱-۳ مقایسه روش‌های کنترل و مدولاسیون مبدل ماتریسی [۱۲].....
۲۲	جدول ۲-۳ نتایج مقایسه روش MPC و SVM در بارهای مختلف [۴۱].....
۲۷	جدول ۱-۴ جبران سازی ورودی غیر سینوسی با روش MFPR [۵۳].....
۲۸	جدول ۲-۴ مقایسه روش‌های پیش‌خور و فیدبک [۲۸].....
۳۱	جدول ۱-۵ پارامترهای شبیه‌سازی مبدل ماتریسی.....
۳۶	جدول ۲-۵ نتایج شبیه‌سازی برای مبدل ماتریسی در حالت ورودی طبیعی.....
۳۸	جدول ۳-۵ عملکرد مبدل ماتریس در ورودی نامتعادل.....
۴۰	جدول ۴-۵ عملکرد مبدل ماتریس در ورودی غیر سینوسی.....
۴۲	جدول ۱-۶ نتایج بررسی حساسیت روش MPC به تغییر پارامترهای بار.....
۴۳	جدول ۲-۶ تأثیر کاهش تعداد سنسورها بر عملکرد روش MPC.....
۴۸	جدول ۳-۶ مقایسه توابع هزینه مختلف در ولتاژ ورودی طبیعی.....
۴۸	جدول ۴-۶ مقایسه توابع هزینه مختلف در ولتاژ ورودی نامتعادل.....
۴۹	جدول ۵-۶ مقایسه توابع هزینه مختلف در ولتاژ ورودی غیر سینوسی.....
۵۱	جدول ۶-۶ پارامترهای شبیه‌سازی مبدل ماتریسی با فیلتر خروجی LC.....
۵۴	جدول ۷-۶ نتایج شبیه‌سازی مبدل ماتریسی با فیلتر خروجی LC.....
۵۶	جدول ۸-۶ نتایج شبیه‌سازی مبدل ماتریسی با فیلتر خروجی LC و کنترل جریان ورودی.....
۵۷	جدول ۹-۶ نتایج شبیه‌سازی مبدل ماتریسی با فیلتر خروجی LC و کنترل جریان ورودی.....
۵۸	جدول ۱۰-۶ عملکرد مبدل ماتریسی با فیلتر LC در شرایط نامتعادل ورودی.....
۵۸	جدول ۱۱-۶ عملکرد مبدل ماتریسی با فیلتر LC در شرایط اعوجاج ورودی.....

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱ مبدل ماتریسی غیر مستقیم [۱۱].....	۲
شکل ۱-۲ مدار معادل مبدل ماتریسی در مختصات abc.....	۹
شکل ۲-۲ مدار معادل مبدل ماتریس در مختصات dqo.....	۱۱
شکل ۳-۲ ولتاژ لینک DC با مدل‌سازی به روش میانگین و کلیدزنی [۹].....	۱۴
شکل ۴-۲ ولتاژ خازن فیلتر ورودی با مدل‌سازی به روش میانگین و کلیدزنی [۹].....	۱۴
شکل ۵-۲ جریان منبع ورودی با مدل‌سازی به روش میانگین و کلیدزنی [۴۰].....	۱۵
شکل ۱-۳ نسبت‌های وظیفه در روش SVM غیر مستقیم.....	۱۷
شکل ۲-۳ نمودار زمانی روش MPC.....	۱۹
شکل ۳-۳ نمودار عملکرد روش MPC.....	۲۰
شکل ۴-۳ پاسخ تغییر پله در راستای محور α برای روش‌های الف) MPC و ب) کنترل PI همراه SVM [۱۸].....	۲۱
شکل ۱-۴ جریان خروجی مبدل ماتریسی [۳۳]، (a) حالت ایده آل، (b) ولتاژ غیر سینوسی بدون جبران سازی، (c) ولتاژ غیر سینوسی با جبران سازی فازی.....	۲۷
شکل ۲-۴ جریان خروجی مبدل ماتریسی در ولتاژ ورودی نامتعادل [۲۷]، (a) بدون جبران سازی، (b) با جبران سازی فیدبک، (b) با جبران سازی پیش‌خور.....	۲۸
شکل ۳-۴ مقایسه جریان خروجی مبدل ماتریسی در روش فازی و پیش‌خور [۳۳].....	۲۹
شکل ۴-۴ مقایسه جریان ورودی مبدل ماتریسی در روش فازی و پیش‌خور [۳۳].....	۲۹
شکل ۱-۵ مدل مبدل ماتریسی غیر مستقیم در Simulink.....	۳۲
شکل ۲-۵ مدل به کار رفته برای کنترل پیش‌بین.....	۳۲
شکل ۳-۵ نمودار عملکرد بلوک پیش‌بین.....	۳۳
شکل ۴-۵ نتایج شبیه‌سازی در ولتاژ ورودی طبیعی و کنترل جریان خروجی. الف) جریان خروجی و جریان مرجع (A)، ب) ولتاژ ورودی ($V/10$) و جریان ورودی (A)، ج) توان راکتیو ورودی (VAR).....	۳۴
شکل ۵-۵ نتایج شبیه‌سازی در ولتاژ ورودی طبیعی و کنترل جریان خروجی و توان راکتیو ورودی. الف) جریان خروجی و جریان مرجع (A)، ب) ولتاژ ورودی ($V/10$) و جریان ورودی (A)، ج) توان راکتیو ورودی (VAR).....	۳۵

شکل ۵-۶ نتایج شبیه سازی در ولتاژ ورودی طبیعی و کنترل جریان خروجی و جریان ورودی. (الف) جریان خروجی و جریان مرجع (A)، (ب) ولتاژ ورودی ($V/10$) و جریان ورودی (A)، (ج) توان راکتیو ورودی (VAR) ۳۶

شکل ۵-۷ نتایج شبیه سازی در ولتاژ ورودی نامتعادل و کنترل جریان خروجی و توان راکتیو ورودی. (الف) جریان خروجی و جریان مرجع (A)، (ب) ولتاژ ورودی ($V/10$) و جریان ورودی (A) ۳۷

شکل ۵-۸ نتایج شبیه سازی در ولتاژ ورودی نامتعادل و کنترل جریان خروجی و جریان ورودی. (الف) جریان خروجی و جریان مرجع (A)، (ب) ولتاژ ورودی ($V/10$) و جریان ورودی (A) ۳۸

شکل ۵-۹ نتایج شبیه سازی در ولتاژ ورودی غیر سینوسی و کنترل جریان خروجی و توان راکتیو ورودی. (الف) جریان خروجی و جریان مرجع (A)، (ب) ولتاژ ورودی ($V/10$) و جریان ورودی (A) ۳۹

شکل ۵-۱۰ نتایج شبیه سازی در ولتاژ ورودی غیر سینوسی و کنترل جریان خروجی و جریان ورودی. (الف) جریان خروجی و جریان مرجع (A)، (ب) ولتاژ ورودی ($V/10$) و جریان ورودی (A) ۳۹

شکل ۶-۱ عملکرد روش ۱ در حالت $R_c/R_o=1.5$ ۴۴

شکل ۶-۲ عملکرد روش ۳ در حالت $R_c/R_o=1.5$ ۴۴

شکل ۶-۳ غیر صفر بودن میانگین توان راکتیو، (الف) توان راکتیو ورودی (VAR)، (ب) ولتاژ ورودی ($V/20$) و جریان ورودی (A) ۴۵

شکل ۶-۴ بهبود میانگین توان راکتیو با اصلاح رابطه ی q ، (الف) توان راکتیو ورودی (VAR)، (ب) ولتاژ ورودی ($V/20$) و جریان ورودی (A) ۴۶

شکل ۶-۵ بهبود میانگین توان راکتیو با اصلاح رابطه ی Δi_s ، (الف) توان راکتیو ورودی (VAR)، (ب) ولتاژ ورودی ($V/20$) و جریان ورودی (A) ۴۷

شکل ۶-۶ فیلتر خروجی LC ۵۰

شکل ۶-۷ نمودار عملکرد روش MPC با فیلتر خروجی LC ۵۱

شکل ۶-۸ شبیه سازی مبدل ماتریسی با فیلتر خروجی LC، (الف) ولتاژ خروجی همراه ولتاژ مرجع (V)، (ب) جریان ورودی (A) و ولتاژ ورودی ($V/20$) ۵۲

شکل ۶-۹ جریان خروجی (مختصات $\alpha\beta$) در شبیه سازی مبدل ماتریسی با فیلتر خروجی LC، (الف) جریان واقعی، (ب، ج، د) جریان تخمین زده شده با مشاهده گره های کند، متوسط و سریع ۵۳

شکل ۶-۱۰ شبیه سازی مبدل ماتریسی با فیلتر خروجی LC و بار غیر خطی، (الف) ولتاژ خروجی همراه ولتاژ مرجع (V)، (ب) جریان ورودی (A) و ولتاژ ورودی ($V/20$) ۵۴

شکل ۶-۱۱ شبیه سازی مبدل ماتریسی با فیلتر خروجی LC و کنترل جریان ورودی، (الف) ولتاژ خروجی همراه ولتاژ مرجع (V)، (ب) جریان ورودی (A) و ولتاژ ورودی ($V/20$) ۵۶

شکل ۶-۱۲ جریان ورودی در بار غیر خطی با $R_f=0.2\Omega$ ، الف) کنترل توان راکتیو ورودی، ب) کنترل
جریان ورودی ۵۷

فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
لاگرانژین	\mathcal{L}
انرژی مغناطیسی	\mathcal{T}
انرژی میدان الکتریکی	\mathcal{V}
تابع تلفات رایلی	\mathcal{D}
تابع نیروهای تعمیم یافته	\mathcal{F}

مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

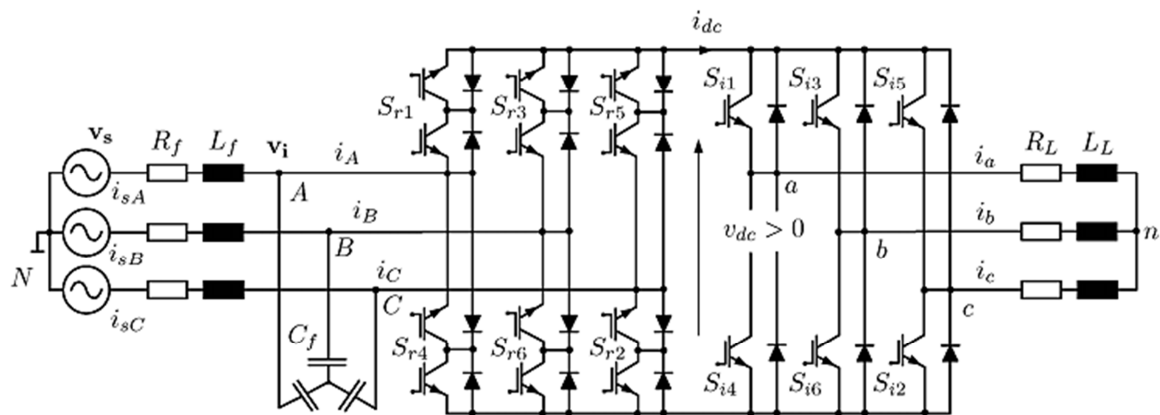
امروزه، مبدل ماتریسی که برای تبدیل مستقیم AC به AC به کار می رود، به دلیل ویژگی‌های مطلوبی که دارد، مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است. در این مبدل از کلیدهای کنترل‌شونده برای ایجاد ولتاژ خروجی با دامنه‌ی متغیر و فرکانس دلخواه استفاده می‌شود و در مقایسه با مبدلهای متداول AC/DC/AC، به علت نبود لینک DC نیازی به عناصر ذخیره کننده انرژی میانی نیست [۱]. از دیگر مزایای این مبدل می‌توان به ضریب توان ورودی قابل کنترل، قابلیت اطمینان بیشتر، ساختار فشرده، قابلیت بازیابی انرژی و جریان ورودی و خروجی سینوسی اشاره کرد [۲].

البته این مبدل دارای معایبی نیز هست. ضریب تبدیل ولتاژ این مبدل حداکثر ۸۶/۶ درصد است. نسبت به ساختار یکسوساز و اینورتر نیاز به تعداد کلید بیشتری دارد. همچنین با توجه به نبود لینک DC هرگونه اعوجاج و اختلال در ولتاژ ورودی به خروجی منتقل می‌شود [۳]. برای حل محدودیت نسبت تبدیل ولتاژ راه حل‌هایی در مراجع [۴]، [۵] و [۶] پیشنهاد شده است. همچنین در مرجع [۲] ساختارهایی با تعداد کلید کمتر ارائه شده است. سایر مسائل مبدل ماتریسی نیز در مرجع [۷] بررسی شده است.

این مبدل به دو نوع مستقیم و غیر مستقیم تقسیم می‌شود. هر یک از این دو نوع می‌تواند تعداد فاز دلخواهی را به تعداد فاز دلخواه دیگری تبدیل کند. در این پایان نامه، فقط مبدل ۳ فاز به ۳ فاز را که از لحاظ عملی مهم ترین نوع این خانواده است، در نظر می‌گیریم. مبدل ماتریسی مستقیم^۱، از ۹ کلید دو طرفه تشکیل شده که این قابلیت را می‌دهند که بتوان هر فاز ولتاژ ورودی را به هر فاز ولتاژ خروجی وصل کرد. این نوع مبدل دارای کموتاسیون پیچیده ایست و ملاحظات حفاظتی ویژه‌ای نیاز دارد [۱]، [۳] و [۸]. مبدل ماتریسی غیر مستقیم^۲ یا مبدل ماتریسی دو مرحله‌ای، از لحاظ کارکرد و مزایا مانند مبدل مستقیم است، ولی مشکل کموتاسیون آن را ندارد و نیاز به مدار حفاظتی ساده تری دارد. همچنین این نوع دارای این قابلیت است که بتوان تعداد کلیدهای آن را کاهش داد [۹] و [۱۰]. این مبدل از دو بخش یکسو ساز و اینورتر تشکیل شده است که بخش یکسوساز شامل ۶ کلید دو طرفه و بخش اینورتر شامل ۶ کلید یک طرفه است. شکل ۱-۱، یک مبدل ماتریسی غیر مستقیم را نشان می‌دهد.

¹ Direct matrix converter

² Indirect matrix converter



شکل ۱-۱ مبدل ماتریسی غیر مستقیم [۱۱]

۲-۱- روش های مدولاسیون و کنترل مبدل ماتریسی

روش‌هایی که برای کنترل و مدولاسیون مبدل ماتریسی استفاده شده به طور عمده شامل تکنیک‌های اسکالر، PWM و پیش‌بین می‌شود [۱۲]. البته روش‌های دیگری مانند DTC، کنترل فازی، کنترل مد لغزشی و ... نیز برای کنترل این مبدل‌ها به کار گرفته شده است [۱۳]، [۱۴].

۱-۲-۱- روش‌های اسکالر

این دسته به دو روش venturini و roy تقسیم می‌شود. در روش venturini یا تابع تبدیل مستقیم، با استفاده از ولتاژهای لحظه‌ای ورودی، ولتاژ خروجی به گونه‌ای ساخته می‌شود که مؤلفه فرکانس پایین آن ولتاژ با فرکانس و دامنه مطلوب ما باشد. در این روش رابطه‌ی ورودی و خروجی با یک تابع انتقال بیان می‌شود و عناصر این ماتریس از روی ولتاژ و جریان‌های موجود و مطلوب محاسبه می‌شود. در روش roy نیز در هر بازه ولتاژ خروجی از دو ولتاژ خط ورودی که بیشترین مقدار را دارند، ساخته می‌شود و نسبت زمان هر یک از آن‌ها و وضعیت صفر محاسبه می‌شود.

۱-۲-۲- روش‌های PWM

این دسته شامل مدولاسیون بر مبنای موج حامل و SVM می‌شود. در دسته‌ی اول، یک سیگنال حامل مثلثی فرکانس بالا با یک سیگنال مرجع سینوسی مقایسه می‌شود. سپس پالس‌های کلیدزنی با استفاده از یک جدول منطقی به عنوان تابعی از ولتاژهای ورودی و سطوح مطلوب خروجی تولید می‌شود [۱۵].

روش SVM بر مبنای نمایش برداری ولتاژها و جریان‌های خروجی و ورودی است. از میان ۲۷ وضعیت کلیدزنی ممکن در مبدل ماتریسی مستقیم، تنها ۲۱ بردار آن قابلیت کاربرد آسان دارند. این بردارها شامل ۱۸ بردار با جهت ثابت و دامنه متغیر متناسب با ولتاژهای ورودی و ۳ بردار صفر می‌شود.

این روش قابلیت کنترل کامل ولتاژ خروجی و ضریب توان ورودی را دارد. در هر لحظه، نسبت وظیفه بردارهای فعال و صفر مورد نیاز محاسبه شده و سیگنال های کلیدزنی مناسب تولید می شود [۱۶].

۱-۲-۳ - کنترل پیش بین

در روش کنترل پیش بین مدل^۱ یا MPC، با استفاده از مدل سیستم مقادیر متغیرهای مورد نیاز، برای زمان های بعدی پیش بینی می شود. سپس این مقادیر با استفاده از یک تابع هزینه ارزیابی می شوند و حالت های کلیدزنی که این تابع را کمینه می کنند، به مبدل اعمال می شود. این عملیات در هر بازه نمونه برداری تکرار می شود.

این روش از لحاظ پیاده سازی آسان است و پیچیدگی های روش SVM را نداشته و نیازی به قسمت مدولاسیون ندارد. در این روش کنترل سریع تر و دقیق تر است و همچنین با پیاده سازی دیجیتال سازگارتر است. ماهیت گسسته مبدل در این روش لحاظ می شود. یکی از ویژگی های اصلی این روش انعطاف پذیری آن برای کنترل متغیرهای مختلف با قيود و نیازهای گوناگون مانند توان راکتیو، ولتاژ مد مشترک، تلفات کلیدزنی، نامتعادلی ولتاژ و ... است. همچنین با این روش می توان سیستم های غیر خطی مقید با چند ورودی و خروجی را کنترل کرد [۱۷]، [۱۸] و [۱۹].

۱-۳-۳ - ولتاژ ورودی غیر طبیعی

همان طور که بیان شد، مبدل ماتریسی فاقد عناصر راکتیو میانی است. بنابراین هرگون اختلال در ولتاژ ورودی بدون واسطه به خروجی منتقل می شود. ولتاژ ورودی نامتعادل یا غیر سینوسی می تواند هارمونیک های ناخواسته ای را در جریان خروجی ایجاد کند [۲۰]. در مرجع [۲۱] روشی برای تحلیل مبدل ماتریسی در شرایط ولتاژ ورودی غیر طبیعی^۲ ارائه شده است. مرجع [۲۲] نیز تحلیلی از هارمونیک های ایجاد شده در جریان های ورودی و خروجی بر اثر اختلالات ولتاژ ورودی انجام داده است. تاکنون روش های مختلفی برای جبران این مشکل پیشنهاد شده است. در یک تقسیم بندی می توان آن ها را به دو دسته حلقه باز و حلقه بسته تقسیم کرد.

۱-۳-۱ - روش های حلقه باز

یکی از این راه کارها اصلاح روش کلیدزنی برای از بین بردن تأثیر هارمونیک های ولتاژ ورودی است. در این روش ابتدا ولتاژ ورودی به مؤلفه های اصلی آن تجزیه می شود. سپس مطابق این مؤلفه ها،

¹ Model Predictive Control

² Abnormal

هارمونیک های مناسب به تابع کلیدزنی اضافه می شود تا اثر اختلال ولتاژ ورودی در خروجی ظاهر نشود [۲۳]. در مرجع [۲۴] نیز فقط برخی هارمونیک های خاص در ورودی در نظر گرفته شده و تابع تبدیل مطابق آن اصلاح می شود.

در [۲۵]، روش مدولاسیونی ارائه شده که با تغییرات زاویه بین ولتاژ و جریان ورودی، هارمونیک های جریان ورودی را کاهش می دهد یا حذف می کند. روش دیگر این است که در SVM به کار رفته، برای محاسبه ی اندیس مدولاسیون به جای استفاده از ولتاژ لینک DC مجازی ایده آل، ولتاژهای ورودی را اندازه گرفته و با محاسبه ولتاژ لینک DC مجازی، از مقدار واقعی آن استفاده کنیم [۲۶]، [۲۷] و [۲۸]. در این صورت تغییرات اندازه ی لینک DC مجازی با تغییر اندیس مدولاسیون جبران شده و هارمونیک های جریان خروجی کاهش می یابد. در مرجع [۲۹] نیز از روش مشابهی استفاده شده است.

۱-۳-۲ - روش های حلقه بسته

در ساده ترین این روش ها، جریان خروجی به مختصات dq یا $\alpha\beta$ رفته و با مقادیر مرجع مقایسه شده و سپس با کنترلر PI یا سایر کنترلرها مقادیر ولتاژ خروجی مرجع تولید می شود [۲۷] و [۲۸]. در روشی دیگر با اندازه گیری جریان های خروجی، اندازه بردار جریان خروجی محاسبه شده و پس از مقایسه با مقدار مرجع و توسط یک کنترلر PI، اندیس مدولاسیون به دست می آید. در نتیجه با ثابت ماندن اندازه بردار جریان خروجی، این جریان ها به شکل سینوسی خواهند بود [۳۰].

در مراجع [۱۱]، [۳۱] و [۳۲] عملکرد کنترل پیش بین در ولتاژهای ورودی نامتعادل و غیر سینوسی بررسی شده است. در این بررسی ها نشان داده شده که این روش به طور طبیعی توانایی جبران این اختلالات را دارد.

در مرجع [۳۳] نیز برای اینکه جریان خروجی از اختلالات ولتاژ ورودی تأثیر نپذیرد، از یک کنترلر فازی برای ثابت نگه داشتن مجذور مربعات جریان های خروجی استفاده شده است.

۱-۴ - هدف از انجام تحقیق

مبدل ماتریسی با توجه به مزایای بسیار زیادی که دارد، برای اینکه جایگاه مناسبی در صنعت پیدا کند، نیازمند این است که نقاط ضعف آن مطالعه و برطرف شود. همان طور که عنوان شد، یکی از این نقاط ضعف اثرپذیری زیاد خروجی نسبت به اختلالات ولتاژ ورودی به علت نبود عنصر راکتیو در لینک DC است. تاکنون روش های متنوعی برای حل این مشکل ارائه شده است. هدف از انجام این تحقیق، بررسی و مقایسه روش های مدلسازی و کنترل مبدل ماتریسی تحت ولتاژ ورودی غیر طبیعی است. با انجام این بررسی، نقاط ضعف و قوت این روش ها مشخص شده و زمینه برای اصلاح نقاط ضعف و بهبود

روش ها فراهم می شود. در کنار این بررسی ها مبدل ماتریسی به همراه روش کنترلی آن شبیه سازی شده و عملکرد آن در شرایط ولتاژ ورودی نامتعادل مطالعه می شود.

۱-۵- ساختار گزارش

ادامه این پایان نامه شامل فصل های زیر است:

در فصل دوم روش هایی را که برای مدلسازی مبدل ماتریسی جهت پیاده سازی یک کنترلر استفاده می شود، معرفی شده اند. این روش ها شامل مدلسازی به روش کلیدزنی، روش مدل میانگین و روش لاگرانژ می باشد.

در فصل سوم از بین روش هایی که تاکنون برای مدولاسیون و کنترل مبدل ماتریسی استفاده شده، دو مورد از متداول ترین آن ها یعنی روش مدولاسیون برداری و روش پیش بین مدل شرح داده و مقایسه شده اند.

در فصل چهارم مسأله ولتاژ ورودی غیر طبیعی در مبدل ماتریسی عنوان شده و روش هایی که برای جبران سازی آن به کار رفته بررسی و مقایسه شده اند.

فصل پنجم اختصاص به شبیه سازی مبدل ماتریسی غیر مستقیم در حالت های ولتاژ ورودی طبیعی، نامتعادل و غیر سینوسی و ارائه ی نتایج آن دارد.

در فصل ششم روش MPC به عنوان روشی که عملکرد آن در شرایط غیر طبیعی ولتاژ ورودی تاکنون مورد بررسی دقیق قرار نگرفته، در این شرایط بررسی شده و اصلاحاتی بر روی آن صورت گرفته است.

فصل ۲- روش های مدل سازی مبدل ماتریسی

۲-۱- مقدمه

پس از انتخاب روش کنترل، برای طراحی کنترلر مناسب نیاز داریم که از مدل صحیح سیستم استفاده کنیم. این مدل بسته به نوع کنترلر می تواند متفاوت باشد. همچنین جزئیاتی که در مدل در نظر گرفته می شود می تواند بسته به هدف مدل سازی تغییر کند. مثلاً برای تحلیل بازده یک مبدل باید جزئیات عناصر تلف کننده ی توان به دقت در نظر گرفته شود، در حالیکه برای طراحی یک کنترلر نیاز به دقت کردن مدل تا این حد نداریم. در ادامه ی این فصل مدل کلیدزنی، مدل میانگین و مدل سازی به روش لاگرانژ مورد بررسی قرار می گیرد.

۲-۲- مدل سازی به روش کلیدزنی

در این روش متغیرهای مدار بر حسب وضعیت لحظه ای کلیدها بیان می شوند. برای مبدل ماتریسی غیر مستقیم شکل ۱-۱، روند به دست آوردن مدل به صورت زیر است:

در سمت ورودی یا سمت خط، یک مرحله ی یکسوسازی وجود دارد که دارای ۶ کلید دوطرفه است. وظیفه ی اصلی این قسمت، کشیدن جریان سینوسی و ایجاد ولتاژ مثبت برای قسمت اینورتر است. قسمت اینورتر یا سمت بار نیز از ۶ کلید یک طرفه تشکیل شده است. این دو قسمت بدون نیاز به خازن به هم متصل شده اند.

با توجه به شکل، ولتاژ لینک DC در هر لحظه به این شکل قابل بیان است:

$$V_{ac} = T_r v_i \quad (1-2)$$

که در این رابطه v_i بردار ولتاژهای ورودی است و T_r از رابطه ی زیر به دست می آید:

$$T_r = [S_{r1} - S_{r4} \quad S_{r3} - S_{r6} \quad S_{r5} - S_{r2}] \quad (2-2)$$

در این ماتریس S می تواند مقادیر ۰ یا ۱ داشته باشد. با توجه به این که ورودی مبدل به شکل منبع

ولتاژ می باشد، فقط یک کلید در هر قسمت بالا و پایین می تواند روشن باشد؛ یعنی:

$$S_{r1} + S_{r3} + S_{r5} = 1 \quad (3-2)$$

$$S_{r4} + S_{r6} + S_{r2} = 1 \quad (4-2)$$