دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

طراحی اینورتر پنج سطحی خازن شناور ولتاژ متغیر جهت تحقق تکنیک SHM-PWAM

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی برق گرایش قدرت

استاد راهنما:

دکتر عبدالرضا شیخ الاسلامی

استاد مشاور:

دکتر هدی قریشی

دانشجو:

محمد زمان اصفهانی

پاییز ۱۳۹۳

تشکر و قدردانی:

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند.

اما از آنجائی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می کند و سلامت امانت هایی را که به دستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب "من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزّ و جلّ": از استاد با کمالات و شایسته؛ **جناب آقای دکتر عبدالرضا شیخ الاسلامی** که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛ از استاد صبور و باتقوا، **سرکار خانم دکتر مهدی قریشی** که زحمت مشاوره این رساله را در حالی متقبل شدند که بدون مساعدت ایشان، این پایان نامه به نتیجه مطلوب نمی رسید کمال تشکر و قدردانی را دارم.

تقدیم به فرشتگان زندگیم :

مادرم، آن که آفتاب مهرش در آستانه قلبم، همچنان پابرجاست و هرگز غروب نخواهد کرد.

پدرم، کوهی استوار و حامی من در طول تمام زندگی.

همسرم، که نشانه لطف الهی در زندگی من است.

باشد که این خرد ترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

چکیده

استراتژی کنترلی SHM-PWAM[1] در مقایسه با SHM-PWM[2] مزایای قابل ملاحظه‌ای از جمله محتوای هارمونیکی کل بهبود یافته‌تر در خروجی و تلفات کلیدزنی کمتر را دارا می‌باشد. دلیل این امر، بهینه سازی مقدار منابع dc علاوه بر بهینه سازی زوایای کلیدزنی است. با این وجود، پیاده سازی روش فوق مستلزم کنترل منابع dc در مقادیر متفاوت و با دینامیک قابل قبول است که نیاز به مدارات اضافه تنظیم ولتاژ را می‌طلبد. اینورتر چندسطحی خازن شناور (FC-MLI[3]) به دلیل داشتن حالات کلیدزنی تکراری، توانایی تنظیم خودکار منابع ولتاژ dc را دارا بوده و نیاز به مدارات اضافه را مرتفع می‌سازد. در این پژوهش استراتژی SHM-PWAM به یک اینورتر ۵ سطحی خازن شناور با منابع dc متغیر اعمال گشته است. نتایج شبیه سازی نشان دهنده برتری PWAM بر PWM متعارف از نقطه نظر بهبود اعوجاج هارمونیکی کل (THD[4]) و کاهش تلفات توان می‌باشد.

بهینه سازی تابع هدف منجر به تولید یک مجموعه از مقادیر زوایای کلیدزنی و مقدار منبع dc متغیر می‌گردد. با این حال، تجزیه و تحلیل مقادیر زوایای کلیدزنی نشان می‌دهد که این مقادیر به آرامی حول مقدار ثابتی در کل مقادیر اندیس مدولاسیون در نوسان می‌باشند. به عبارت دیگر، تنها استراتژی مدولاسیون PAM[5] می‌تواند به جای ترکیب پهنای پالس و دامنه‌ی پالس در کنترل اینورتر استفاده گردد. این امر باعث کاهش قابل توجهی در بار محاسباتی و همچنین پیچیدگی کمتر طراحی فیلتر خروجی شده است. تابع هدف اصلاح شده و سپس فقط تنها با یک متغیر تعریف می‌شود (مقدار منبع dc). این زوایای کلیدزنی بهینه شده که منجر به کمترین مقدار THD در PWAM سابق گشته است، به عنوان مقادیر ثابت در PAM اصلاح شده استفاده می شود. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که روش SHM-PAM نیز همانند روش SHM-PWAM توانسته‌است نیازمندی‌های کدهای شبکه را با یک فیلتر خیلی کوچک نسبت به روش متعارف SHM-PWM ارضا نماید. و همچنین باعث بهبود اعوجاج هارمونیکی کل (THD) و کاهش تلفات توان گردیده است.

واژه‌های کلیدی : FC-MLI، PWAM، PWM، PAM، زوایای کلیدزنی، THD، بهینه سازی منبع dc.

[1] Selective Harmonic Mitigation-Pulse Width and Amplitude Modulation

[2] Selective Harmonic Mitigation-Pulse Width Modulation

[3] Flying Capacitor Multi Level Inverter

[4] Total Harmonic Distortion

[5] Pulse Amplitude Modulation

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل۱- مقدمه ۲

۱-۱- پیشگفتار ۲

۱-۲- شرح مسئله ۳

۱-۳- هدف پایان‌نامه ۴

۱-۴- طرح پژوهش ۶

فصل۲- مروری بر اینورترهای چندسطحی خازن شناور و انواع روش‌های مدولاسیون ۸

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۲- اینورترهای چندسطحی خازن شناور ۱۰

۲-۲-۱- اصول کار اینورتر چندسطحی خازن شناور ۱۰

۲-۲-۲- مزایا و معایب ۱۱

۲-۲-۳- معرفی انواع ساختارهای اینورتر ۵ سطحی FC-MLI موجود ۱۲

۲-۲-۳-۱- دسته‌ی اول- اینورتر ۵ سطحی خازن شناور مرسوم ۱۲

۲-۲-۳-۲- دسته‌ی دوم- اینورترهای چندسلولی مبتنی بر خازن شناور مرسوم ۱۵

۲-۲-۳-۲-۱- اینورتر چندسلولی مبتنی بر اینورتر خازن شناور مرسوم ۱۵

۲-۲-۳-۲-۲- اینورتر چندسلولی پشته‌ای (SM) ۱۵

۲-۲-۳-۲-۳- اینورتر چندسلولی دوتایی خازن شناور(DFCM) ۱۷

۲-۲-۳-۲-۴- اینورتر تک فاز خازن شناور نا متقارن ۱۹

۲-۲-۳-۳- دسته‌ی سوم- اینورترهای ترکیبی(هیبرید) ۲۰

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۲-۳- تکنیک‌های مدولاسیون و متعادل‌سازی ولتاژ خازن‌های شناور ۲۱

۲-۳-۱- انواع تکنیک‌های مدولاسیون ۲۱

۲-۳-۲- انواع روش‌های کنترلی برای متعادل‌سازی ولتاژ خازن‌های شناور ۲۲

۲-۳-۲-۱- معرفی روش‌های مبتنی بر کنترل حلقه باز ۲۳

۲-۳-۲-۱-۱- الزامات روش کنترلی حلقه باز ۲۵

۲-۳-۲-۲- روش‌های مبتنی بر کنترل حلقه باز به همراه مدارات کمکی برای کنترل بهتر ولتاژ خازن‌های شناور ۲۶

۲-۳-۲-۳- روش‌های مبتنی بر کنترل حلقه بسته ۲۷

۲-۴- مدولاسیون کاهش یا حذف هارمونیک‌های انتخابی(SHE/M PWM) ۳۵

۲-۵- جمع‌بندی ۴۰

فصل۳- روش کنترلی پیشنهادی مدولاسیون همزمان پهنا و دامنه پالس در اینورتر ۵ سطحی خازن شناور ۴۲

۳-۱-روش کنترلی پیشنهادی SHM-PWAM ۴۳

۳-۱-۱- مفاهیم پایه‌ای ۴۳

۳-۱-۲- شکل موج خروجی پیشنهادی ۴۴

۳-۱-۳- اصول SHM-PWM ۴۶

۳-۱-۴- اصول SHM-PWAM ۴۷

۳-۱-۵- اصول SHM-PAM ۴۸

۳-۲- کنترل ولتاژ خازن‌های شناور ۴۹

۳-۲-۱- چگونگی عملکرد الگوریتم کنترل ولتاژ خازن‌های شناور ۵۱

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳-۳- جمع‌بندی ۵۴

فصل۴- نتایج و شبیه سازی ۵۶

۴-۱- تحقق مداری ۵۶

۴-۲- مقایسه بین روش SHM-PWAM با روش متعارف SHM-PWM ۵۷

۴-۳- مقایسه بین روش SHM-PAM با روش متعارف SHM-PWM ۶۷

۴-۴- مقایسه با مرجعی که از ۷ درجه آزادی در تابع هدف استفاده نموده است ۷۳

۴-۵- جمع‌بندی ۷۴

فصل۵- نتیجه گیری و پیشنهادها ۷۷

۵-۱- نتیجه گیری ۷۷

۵-۲- پیشنهادها ۷۸

فهرست منابع و مراجع ۷۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

فصل دوم

شکل(۲-۱): انواع اینورترهای چندسطحی الف) یک ساق اینورتر n سطحی برش دیودی ب) یک ساق اینورتر n سطحی خازن شناور ج) ساختار مبدل n سطحی سه فاز CHB[۳]..... ۸

شکل(۲-۲): یک فاز ساق اینورتر ۵ سطحی خازن شناور[۱۲]..... ۱۳

شکل(۲-۳): یک فاز ساق اینورتر ۵ سطحی خازن شناور بدون نقطه نول وسط[۱۲]..... ۱۴

شکل(۲-۴): ساختار مبدل ۴ سلولی ۵ سطحی خازن شناور[۱۳]..... ۱۵

شکل(۲-۵): ولتاژ فاز ساق اینورتر ۵ سطحیFC-MLI[۱۳]..... ۱۵

شکل(۲-۶): ساختار مبدل ۵ سطحی ۴سلولی SM[۱۴]..... ۱۶

شکل(۲-۷): ولتاژ فاز مبدل ۵ سطحی ۴ سلولی SM با مدولاسیون PS-PWM[۱۴]..... ۱۶

شکل(۲-۸): ساختار مبدل ۴ سلولی ۹ سطحی DFCM[۱۵]..... ۱۸

شکل(۲-۹): ولتاژ خروجی مبدل ۴سلولی ۹ سطحی DFCM[۱۵]..... ۱۸

شکل(۲-۱۰): مبدل تک فاز خازن شناور نامتقارن با ضریب ولتاژ متفاوت خازن‌ها[۱۶]..... ۱۹

شکل(۲-۱۱):شکل موج ولتاژخروجی مبدل‌تک‌فاز خازن‌شناورنامتقارن با ضریب ولتاژ متفاوت خازن‌ها[۱۶] ۲۰

شکل(۲-۱۲): طبقه بندی روش‌های مدولاسیون..... ۲۲

شکل(۲-۱۳): قاعده کلی کنترل متعادل‌سازی طبیعی ولتاژ در یک دوره تناوب. الف) در اندیس مدولاسیون پایین ب) در اندیس مدولاسیون بالا[۱۷]..... ۲۳

شکل(۲-۱۴): ثابت زمانی متعادل‌سازی طبیعی برای PD و PS-PWM به صورت تابعی از عمق مدولاسیون اینورتر سه سطحی[۲۷]..... ۲۵

شکل(۲-۱۵): پاسخ‌های گذرای متعادل‌سازی شبیه سازی شده و تحلیلی برای PD و PS-PWM - ولتاژ خازن فاز A ، پله ۵۰ ولت لینک dc[۲۷]..... ۲۵

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل(۲-۱۶): ارتباط فیلتر متعادل‌ساز افزاینده برای ایجاد مسیر جریان برای هارمونیک‌های حالت مشترک[۲۷] ۲۷

شکل(۲-۱۷): ثابت زمانی متعادل‌سازی برای PD-PWM و PSC-PWM با شامل یک فیلتر متعادل‌ساز افزاینده و بدون یک مسیر حالت مشترک[۲۷] ۲۷

شکل(۲-۱۸): بلوک دیاگرام کنترل‌گر متعادل‌ساز ولتاژ[۳۰] ۲۸

شکل(۲-۱۹): الف) جریان خطا و محدوده باند هیسترزیس با بار شدیدا سلفی (A) ب) ولتاژ خروجی اینورتر(V) ج) اختلاف زمان بین کلیدزنی‌های پیاپی (ms) ۲۹

شکل(۲-۲۰): الف) جریان خطا و محدوده باند هیسترزیس با بار شدیدا مقاومتی (A) ب) ولتاژ خروجی اینورتر(V) ج) اختلاف زمان بین کلیدزنی‌های پیاپی (ms) ۳۰

شکل(۲-۲۱): ولتاژ خازن‌های شناور الف) با بار شدیدا سلفی (V) و ب) با بار شدیدا مقاومتی (V) ۳۰

شکل(۲-۲۲): الف)جریان خطا و محدوده باند هیسترزیس مبتنی‌بر کنترل زمان ولتاژ خازن‌های‌شناور با بار شدیداسلفی (A) ب)ولتاژ خروجی اینورتر(V) ج)شمارش تعداد مدت زمان شمارنده با t_d برابر $400\mu s$ (ms) ۳۱

شکل(۲-۲۳): الف) ولتاژ خازنهای شناور با $t_d = 200\mu s$ (V) ب) ولتاژ خازنهای شناور با $t_d = 100\mu s$ (V). ۳۱

شکل(۲-۲۴): الف) بلوک دیاگرام FC-MLI ۴ سطحی و ب) کنترل مستقیم یک فاز اینورتر ۴ سطحی خازن شناور[۳۵] ۳۲

شکل(۲-۲۵):رسم بردارهای 3D برای الف)سه‌سطحی ب)۵سطحی، با مسیرهای مرجع نامتعادل شده[۳۹] ۳۴

شکل(۲-۲۶): بلوک دیاگرام رویت‌گر[۴۰] ۳۴

شکل(۲-۲۷): مقایسه بین تکنیک‌های SHE/M-PWM و کدهای شبکه با فرکانسی برابر ۳۵۰ هرتز[۴۹]. ۳۹

فصل سوم

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل(۳-۱): شکل موج ولتاژ خروجی چندسطحی فرکانس پایین در حالت کلی[۵۵]..... ۴۳

شکل(۳-۲): الگوی کلیدزنی برنامه ریزی شده ۵ سطحی PWM با ۶ زاویه کلیدزنی و ولتاژ V_1 متغیر..... ۴۵

شکل(۳-۳): الف) THD، ب) زوایای بهینه شده و ج) ولتاژ بهینه شده برای تمامی مقادیر m_a روش SHM-PWAM..... ۴۸

شکل(۳-۴): فلوچارت الگوریتم کنترل شارژ و دشارژ خازن‌های شناور..... ۵۳

فصل چهارم

شکل(۴-۱): اینورتر پنج سطحی خازن شناور جهت تحقق روش SHM-PWAM و SHM-PAM..... ۵۷

شکل(۴-۲): نمودار مولفه اول ولتاژ خروجی شبیه سازی شده بر مبنای مقادیر مختلف m_a الف) روش SHM-PWAM و ب) روش SHM-PWM متعارف..... ۵۷

شکل(۴-۳): زوایای بهینه شده توسط GA برای الف) SHM-PWAM ب) SHM-PWM ج) ولتاژ بهینه شده V_1 برای روش SHM-PWAM..... ۵۹

شکل(۴-۴): THD براساس مقادیر مختلف اندیس مدولاسیون..... ۶۰

شکل(۴-۵): مقایسه میان بدترین محتوای هارمونیکی و بدترین THD خط روش SHM-PWM و SHM-PWAM با ماکزیمم حد مجاز کدهای شبکه برای $0.6 \le m_a \le 1.21$ ۶۱

شکل(۴-۶): شکل موج ولتاژ خط خروجی روش SHM-PWAM در $m_a = 0.32$..... ۶۲

شکل(۴-۷): شکل موج ولتاژ خط خروجی روش متعارف SHM-PWM در $m_a = 0.32$..... ۶۲

شکل(۴-۸): نمودار کاهش تلفات کلیدزنی روش SHM-PWAM نسبت به روش متعارف SHM-PWM در کل مقادیر m_a..... ۶۴

شکل(۴-۹):ولتاژ خازن‌های‌شناور به ازای $m_a = 0.9$ الف)ولتاژ خازن‌های‌شناور ب) V_{C1} ج) V_{C2} و د) V_{C3} ۶۴

شکل(۴-۱۰): تعداد دفعات کلیدزنی در یک دوره تناوب کلیدهای S_1 تا S_4 در زمان ۱ تا ۱.۰۲ ثانیه.....۶۶

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل(۴-۱۱): افزایش m_a از ۰.۸ به ۰.۸۵ در زمان ۱.۵ ثانیه الف) شکل موج ولتاژ فاز به همراه تغییر ولتاژ ورودی ب) ولتاژ خازن‌های شناور..... ۶۶

شکل(۴-۱۲): شکل موج جریان سه فاز بار برای m_a برابر ۰.۸ الف) SHM-PWAM ب) SHM-PWM..۶۶

شکل(۴-۱۳): نمودار مولفه اول ولتاژ خروجی شبیه سازی شده بر مبنای مقادیر مختلف m_a الف) SHM-PAM و ب) روش SHM-PWM..... ۶۷

شکل(۴-۱۴): مقایسه بین مقدار THD و اندازه هارمونیک‌های تا مرتبه ۴۹ بهینه سازی شده و شبیه سازی شده روش SHM-PAM..... ۶۸

شکل(۴-۱۵): زوایای بهینه شده توسط GA برای الف) SHM-PAM ب) SHM-PWM ج) ولتاژ بهینه شده V_1 برای روش SHM-PAM..... ۶۹

شکل(۴-۱۶): THD براساس مقادیر مختلف اندیس مدولاسیون..... ۶۹

شکل(۴-۱۷): مقایسه میان بدترین محتوای هارمونیکی و بدترین THD خط روش SHM-PWM و SHM-PAM با ماکزیمم حد مجاز کدهای شبکه برای $0.6 \le m_a \le 1.21$..... ۷۰

شکل (۴-۱۸): شکل موج ولتاژ خط خروجی روش SHM-PAM در $m_a = 0.32$..... ۷۱

شکل (۴-۱۹): شکل موج ولتاژ خط خروجی روش متعارف SHM-PWM در $m_a = 0.32$..... ۷۱

شکل(۴-۲۰):ولتاژ خازن‌های‌شناور به ازای $m_a = 0.8$ الف)ولتاژ خازنهای شناور ب) V_{C1} ج) V_{C2} و د) V_{C3}۷۱

شکل(۴-۲۱): افزایش m_a از ۰.۹ به ۰.۹۵ در زمان ۱.۵ ثانیه الف) شکل موج ولتاژ فاز به همراه تغییر ولتاژ ورودی ب) ولتاژ خازن‌های شناور..... ۷۲

شکل(۴-۲۲): شکل موج جریان سه فاز بار برای m_a برابر ۰.۸ الف) SHM-PAM ب) SHM-PWM..... ۷۳

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

فصل دوم

جدول(۲-۱): مقایسه میان نیازمندی‌های وسایل قدرت هر فاز در سه اینورتر مذکور ۹

جدول(۲-۲): طرح کلیدزنی برای یک فاز ساق اینورتر ۵ سطحی خازن شناور [۱۲] ۱۳

جدول(۲-۳): سطوح ولتاژی و حالت‌های کلیدزنی اینورتر ۵ سطحی خازن شناور[۱۲]..... ۱۴

جدول(۲-۴): حالت‌های کلیدزنی در مبدل ۵ سطحی ۴ سلولی SM[۱۴]..... ۱۷

جدول(۲-۵): حالت‌های کلیدزنی مبدل ۴ سلولی ۹سطحی DFCM[۱۵]..... ۱۸

جدول(۲-۶): مقایسه بین DFCM، FC-MLI و SM برای یک سطح ولتاژ خروجی یکسان[۱۵]..... ۱۹

جدول(۲-۷): حالت‌های کلیدزنی برای اینورتر چندسطحی پیشنهاد شده و رفتار خازن‌ها[۱۶]..... ۲۰

جدول(۲-۸): طبقه بندی انواع روش‌های کنترلی حلقه بسته..... ۳۵

جدول(۲-۹): مقایسه بین سه روش..... ۳۵

جدول(۲-۱۰): نیازمندی‌های کدهای شبکه..... ۳۸

فصل سوم

جدول(۳-۱): زوایای به دست آمده برای روش SHM-PAM ۴۹

جدول(۳-۲): حالت‌های کلیدزنی با توجه به جهت جریان و مقدار شاخص X_i..... ۵۰

جدول(۳-۳):حالت‌های کلیدزنی سطوح ولتاژی مختلف به‌همراه نحوه‌شارژ و دشارژ شدن خازن‌های‌شناور. ۵۱

فصل چهارم

جدول(۴-۱): پارامترهای سیستم شبیه سازی شده..... ۵۷

جدول(۴-۲): مقدار THD٪ بهینه سازی و شبیه سازی شده روش SHM-PWAM برای m_a بالاتر از ۰.۶ و با گام ۰.۰۲ ..... ۵۸

جدول(۴-۳): جواب‌های بهینه شده معادلات (۳-۹) و (۳-۱۳) تحت دو شرایط مختلف برای هر دو روش. ۶۱

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول(۴-۴): جواب‌های بهینه شده معادلات (۳-۹) و (۳-۱۹) تحت دو شرایط مختلف برای هر دو روش. ۷۲

جدول(۴-۵): مقایسه بین اندازه هارمونیک‌های تا مرتبه ۴۹ و THD روش SHM-PWAM و مرجع [۴۹] با استاندارد کدهای شبکه EN50160 و CIGRE WG 36-05 ..... ۷۴

فهرست علائم و اختصارات

APF	فیلترهای قدرت فعال(active power filter)
FACTS	سیستم‌های انتقال انعطاف پذیر AC (Flexible AC Transmission Systems)
UPS	منبع تغذیه بدون وقفه(Uninterruptible Power Supply)
THD	اعوجاج هارمونیکی کل(Total Harmonic Distortion)
CM	ولتاژ حالت مشترک(Common Mode)
EMI	سازگاری الکترومغناطیسی(Electromagnetic Interference)
DC-MLI	اینورتر چندسطحی برش دیودی(Diode Clamped Multi Level Inverter)
FC-MLI	اینورتر چندسطحی خازن شناور(Flying Capacitor Multi Level Inverter)
CHB	پل H سری (Cascaded H-Bridge)
SHE	حذف هارمونیک‌های انتخابی(Selective Harmonic Elimination)
SHM	کاهش هارمونیک‌های انتخابی(Selective Harmonic Mitigation)
SHM-PWAM	مدولاسیون پهنا و دامنه پالس در کاهش هارمونیک‌های انتخابی (selective harmonic mitigation-pulse width and amplitude modulation)
PAM	مدولاسیون دامنه پالس(Pulse Amplitude Modulation)
GA	الگوریتم ژنتیک(Genetic Algorithm)
LUT	جدول جستجو(Look-up Table)
HVDC	جریان مستقیم ولتاژ بالا (High-Voltage Direct Current)
SM	اینورتر چندسلولی پشته‌ای(Stacked Multicell Inverter)
DFCM	اینورتر چندسلولی دوتایی خازن شناور (Double Flying Capacitor Multicell Inverter)
PWM	مدولاسیون پهنای پالس(Pulse width modulation)

فهرست علائم و اختصارات

SMCT	اینورتر ترانسفرمر آبشاری چندسلولی پشته (Stacked Multicell Cascaded transformer Multilevel Inverter)
CB-PWM	مدولاسیون پهنای پالس مبتنی بر موج حامل(Carrier-Based PWM)
SVM	مدولاسیون بردار فضایی(Space Vector Modulation)
SVC	کنترل بردار فضایی(Space Vector Control)
SPWM	مدولاسیون موج سینوسی(Sinusoidal PWM)
PD-PWM	PWM با حالت فاز (phase disposition pulse width modulation)
PS-PWM	PWM با جابه جایی فاز (phase shifted pulse width modulation)
DTC	کنترل مستقیم گشتاور (direct torque control)
FS-MBPC	کنترل پیشگویی آنلاین(Finite-Set Model-Based Predictive Control)
3D-PWM	مدولاسیون بردار فضایی سه بعدی (Three Dimensional Space Vector Modulation)

فصل اول

مقدمه

فصل۱- مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

امروزه اینورترهای چندسطحی مورد توجه بسیاری از محققان و همچنین در کاربردهای صنعتی توان بالا و ولتاژ متوسط مورد استفاده صنعت‌گران قرار گرفته است. برخی از این کاربردها را می‌توان به محرکه موتورهای قدرت ، شبکه‌ی انتقال DC، فیلترهای قدرت فعال(APF[۶])، ادوات FACTS[۷]، UPS[۸] ها و انرژی‌های تجدیدپذیر[۹] نام برد[۴-۱].

در سال‌های اخیر، کاربردهای صنعتی متعدد، نیاز به تجهیزاتی با توان زیادتر را طلب می‌کنند. به عنوان مثال، محرکه‌های ولتاژ متوسط موتورها، نیازمند سطح توانی در حد مگا وات می‌باشند. این در حالی است که استفاده از اینورترهای دو سطحی متداول، پاسخگوی نیازهای اتصال به شبکه نبوده و اتصال مستقیم آنها به شبکه مشکلاتی را در بر خواهد داشت. در نتیجه در شرایط ولتاژ متوسط و توان بالا، ساختار یک اینورتر قدرت چندسطحی به عنوان جایگزین مطرح شده و شرایط کار در این محدوده از ولتاژ و توان به نحو مطلوبی فراهم می‌آید. از مزایای دیگر اینورترهای چندسطحی می‌توان به کاهش اعوجاج هارمونیکی کل (THD)، کاهش تنش‌های ناشی از *dv/dt*، کاهش تنش وارد بر کلیدهای نیمه هادی ، کاهش ولتاژ حالت مشترک (CM[۱۰])، کاهش مشکلات مربوط به سازگاری الکترومغناطیسی (EMI[۱۱]) و نیاز به فیلتر خروجی کوچک‌تر اشاره نمود، معایبش هم هزینه و پیچیدگی بیشتر سیستم می‌باشد[۵-۳ و۱].

به‌طورکلی، اینورترهای چندسطحی برش دیودی(DC-MLI[۱۲])، خازن شناور(FC-MLI) و آبشاری(CHB[۱۳]) سه نوع از ساختارهای پایه اینورترهای چندسطحی می‌باشند[۳]، که در این بین اینورتر

---

[۶] Active Power Filter
[۷] Flexible AC Transmission Systems
[۸] Uninterruptible Power Supply
[۹] Renewable energy
[۱۰] Common Mode
[۱۱] Electromagnetic Interference
[۱۲] Diode Clamped Multi Level Inverter
[۱۳] Cascaded H-Bridge

چندسطحی خازن شناور به دلیل حالات کلیدزنی تکراری[۱۴] که برای سطوح ولتاژی مختلف در آن وجود دارد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

۱-۲- شرح مسئله

به دلیل استفاده روزافزون اینورترها در کاربردهای متعدد، روش‌های کنترلی آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف از کنترل این مبدل‌ها، تولید خروجی مرجع با دامنه و فرکانس قابل کنترل می‌باشد. روش‌های کنترلی مذکور از تنوع زیادی برخوردارند. از آنجائی‌که هر روش مزایا و معایب خاص خود را داراست، لذا انتخاب روش مناسب، منوط به کاربردهای خاص و معیارهای عملکردی مورد نیاز و مطلوب می‌باشد. مشخصات کلی عملکرد عبارتند از: چگالی توان زیاد، حجم کم، هزینه پایین، بازده و قابلیت اطمینان زیاد، پاسخ گذرای سریع، نویز صوتی اندک و اعوجاج هارمونیکی کم. به‌کارگیری فرکانس‌های کلیدزنی بیشتر، نیازی اساسی برای دستیابی به اکثر موارد مذکور است. با این حال، افزایش فرکانس موجب افزایش تلفات[۱۵] می‌گردد که یکی از معایب اساسی و جدی به شمار می‌آید.

به عبارت دیگر در سیستم‌هایی با توان بالا، تلفات توان[۱۶] در اینورترهای قدرت در طول مراحل کلیدزنی و هدایت تا اندازه‌ای است که فرکانس کلیدزنی را به شدت محدود می‌نماید. در چنین شرایطی استفاده از روش‌های مدولاسیون فرکانس پایین[۱۷] نظیر روش‌های حذف یا کاهش هارمونیک‌های انتخابی (SHE/M[۱۸]) جهت کنترل اینورترهای چندسطحی، گزینه‌های مناسبی به شمار می‌آیند[۷و۸]. بایستی توجه نمود که در روش SHE دامنه اولین هارمونیک مضر بعد از هارمونیک‌های صفر شده دارای دامنه غیر کنترل شده بالایی می‌باشد. در صورت استفاده از این روش در حالت واقعی بایستی از فیلتر خروجی بزرگی استفاده نمود که این فیلتر باعث افزایش هزینه و بزرگی سیستم می‌گردد. به منظور غلبه بر معایب ذکر شده در روش SHE، روش

[۱۴] redundant switching states
[۱۵] loss
[۱۶] power dissipation
[۱۷] Low frequency
[۱۸] Selective Harmonic Elimination/Mitigation

SHM معرفی گردید. مساله اصلی این است که در روش‌های فرکانس پایین (SHE/M) چنانچه بخواهیم هارمونیک‌های بیشتری را حذف کنیم نیاز به افزایش فرکانس کلیدزنی داریم. ولی در روش SHM-PWAM با تغییر همزمان پهنا و دامنه پالس درجات آزادی[۱۹] افزایش می‌یابد و بدون نیاز به افزایش فرکانس، هارمونیک-های بیشتری حذف می‌گردند[۹].

۱-۳- هدف پایان‌نامه

در این پژوهش، روش کنترلی مدولاسیون همزمان پهنا و دامنه پالس در کاهش هارمونیک‌های انتخابی (SHM-PWAM) برای اینورتر خازن شناور پیشنهاد شده است. در روش SHM-PWAM، قابلیت تغییر دامنه پالس همانند قابلیت تغییر پهنای پالس به اینورتر قدرت اضافه شده است. بدین ترتیب کیفیت روش کنترلی متعارف SHM-PWM بیش از پیش بهبود می‌یابد. با این وجود، تحقق[۲۰] بخش PAM نیازمند تغییر منابع dc اینورتر با رفتار گذرای قابل قبول می‌باشد. بایستی برای تحقق این روش اینورتری را انتخاب نمود که از نظر ذاتی نیاز به مدارات جداگانه نداشته باشد. از اینرو، در این پایان‌نامه این روش بر روی اینورتر ۵ سطحی خازن شناور با منابع dc متغیر اعمال شده است. انتخاب اینورتر چندسطحی خازن شناور به این دلیل بوده است که خازن‌های شناور توانایی تطبیق ولتاژ خود را با هر ولتاژ مرجعی با دینامیک خوب و بدون نیاز به مدارات کمکی اضافه دارا می‌باشند. همچنین تعداد منابع dc در اینورتر چندسطحی خازن شناور بر خلاف دیگر ساختارهای اینورترهای چندسطحی با افزایش تعداد سطوح ولتاژ خروجی افزایش نمی‌یابد، که این امر باعث می‌گردد این اینورتر برای تعداد سطوح بیشتر از ۵ سطح صرفا به ۲ منبع dc متغیر نیاز داشته باشد. تعداد درجات آزادی در نظر گرفته شده در این پایان‌نامه برابر ۷ درجه آزادی می‌باشد که ۶ درجه آن مربوط به زوایای کلیدزنی و یک درجه دیگر مربوط به منبع dc متغیر می‌باشد. در اینجا جهت پیاده سازی محاسبات نرم[۲۱]، از الگوریتم

[۱۹] freedom degrees

[۲۰] realization

[۲۱] Soft Computing