



دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گروه مهندسی برق قدرت

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته‌ی مهندسی برق قدرت گرایش الکترونیک قدرت

عنوان

تحلیل و شمع سازی یک مبدل الکترونیکی قدرت جدید بهبود یافته برای استحصال توان

ماکزیمم از انرژی‌های تجدیدپذیری

اساتید راهنما

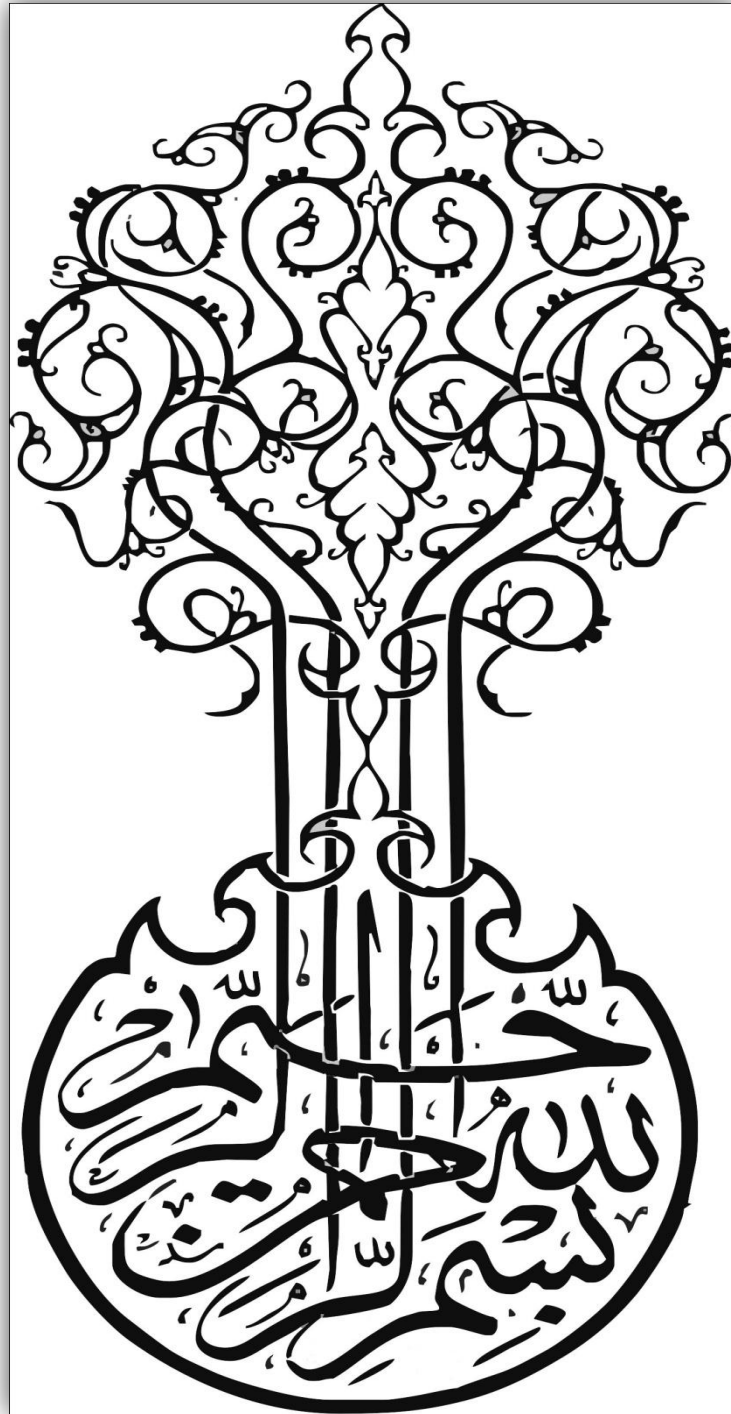
دکتر سید حسین حسینی

دکتر ابراهیم بابایی

پژوهشگر

امین اشرف‌گندمی

بهمن ۱۳۹۳



با سپاس خداوند منان را که فرصتی مقرر نمود تا قدری به مسیر پیموده شده توجه نمایم. خدای را شاکرم که در تمامی مراحل زندگی، یاد او آرامش بخش روح و روان بنده بوده است. در این مسیر، که منجر به تکمیل این بخش علمی زندگی بنده بوده است، از اساتید راهنمای بزرگوار اینجانب، جناب آقای دکتر سید حسین حسینی و جناب آقای دکتر ابراهیم پایایی که راهنمایی های ایشان، تکمیل کننده کار بنده بوده است، بی نهایت سپاس گزارم. همچنین از جناب آقای دکتر صباغی که به حق، بدون هیچ چشم داشتی، دلسوزانه با نهایت توان بنده را راهنمایی نمودند، قدر دانی می کنم. از دوست عزیزم، جناب آقای مهندس سعید سعیدآبادی که در تکمیل پایان نامه بنده، نقشی به سزایی داشتند، کمال تشکر را دارم. در نهایت، ولی نه در انتها، از ارزشمندترین انسان های زندگی ام که در تمام لحظات زندگی، چه در سختی و مشکلات، و چه در لحظات شادی، پشتیبان بنده بوده اند، با راهنمایی ها و کمک های ایشان، تک تک لحظات زندگی بنده را سرشار از آرامش نمودند، با تمام وجود تشکر می کنم، از پروردگار متعال سلامتی شان را آرزو می کنم، لذا این تحفه ناچیز را به وجود پاک و سخاوتمند

پدر بزرگوارم،

مادر فداکارم

و برادر عزیزم

تقدیم می کنم.

نام خانوادگی: اشرف گندمی	نام: امین
عنوان پایان نامه: تحلیل و شمع سازی یک مبدل الکترونیکی قدرت جدید بهبود یافته برای استحصال توان ماکزیمم از انرژی های تجدید پذیری	
اساتذع راهنما: دکتر سید حسین حسینی - دکتر ابراهیم بابائی	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق قدرت
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی برق و کامپیوتر

چکیده:

در این پایان نامه، اینورتری با ساختار و روش کنترلی جدید برای کاربردهای انرژی های تجدیدپذیر پیشنهاد شده است . اینورتر پایه پیشنهادی توانایی تولید ولتاژ ۷ سطحی با کمترین تعداد کلید و منابع را دارا می باشد. اینورتر تک طبقه پیشنهادی قابلیت افزایش ولتاژ ورودی را داشته و مناسب برای منابع فتوولتاییک می باشد، که نیاز به طبقه دیگر و اینورتر افزایش دهنده دیگری در این ساختار وجود ندارد . اینورتر پایه پیشنهادی از جنبه های تعداد ادوات سازنده، تنش ولتاژ، بهره ولتاژ خروجی ، هزینه، حجم و وزن با ساختارهای مرسوم و ساختارهایی که اخیرا رایج شده اند، مقایسه شده و از این دیدگاه ها عملکرد مناسب اینورتر پیشنهادی تایید شده است . همچنین برای اخذ بیشینه توان از پنل های خورشیدی، محاسبات مربوطه انجام یافته و توانایی اینورتر پیشنهادی در این زمینه اثبات گشته است . در این پایان نامه، ساختار اینورتر پایه پیشنهادی از دیدگاه های مختلف تعمیم یافته است. در این زمینه، پنج ساختار تعمیم یافته پیشنهاد شده و در هر یک، برای حصول بیشینه سطح زوج و فرد ولتاژ تولیدی با پله های برابر، الگوریتم های تعیین سائز منابع و ضریب سیم پیچی ترانسفورماتورها پیشنهاد شده است . همچنین اینورترهای تعمیم یافته از دیدگاه های متفاوت با یکدیگر مقایسه شده اند. ساختار بهبود یافته دیگری در راستای کاهش منابع ورودی نیز پیشنهاد شده است . برای این اینورتر، روش کنترلی جدیدی برای تولید ولتاژ مناسب پیشنهاد شده است . همچنین طراحی ادوات استفاده شده در ساختار اینورترهای پیشنهادی و محاسبه تلفات آن ها نیز در این پایان نامه صورت پذیرفته است. عملکرد حالت طبیعی و رفتار دینامیکی اینورتر پایه پیشنهادی و ساختار بهبود یافته و روش های کنترلی رایج داده شده و همچنین تعقیب بیشینه توان در منابع فتوولتاییک توسط اینورتر پیشنهادی در حالت های متفاوت اعم از تغییرات مقدار منبع ورودی، تغییرات مقدار بار، تغییرات تابش و دمای پنل خورشیدی بوسیله نتایج شبیه سازی تایید شده اند. در راستای تحلیل عملی عملکرد اینورتر پیشنهادی، نمونه آزمایشگاهی اینورتر پیشنهادی ساخته شده است. نتایج حاصل از نمونه آزمایشگاهی، عملکرد مناسب اینورتر پیشنهادی و روش کنترلی بهبود یافته پیشنهادی و در نتیجه نتایج شبیه سازی های مربوطه را تایید کردند.

فهرست مطالب

عنوان.....	صفحه
مقدمه.....	۲
۱-۱ مقدمه.....	۲
۲ بررسی منابع.....	۴
۱-۲ مقدمه.....	۴
۲-۲ بررسی منابع.....	۴
۳-۲ اینورتر کاسکاد.....	۴
۴-۲ اینورتر دیود کلمپ.....	۶
۵-۲ اینورتر خازن کلمپ.....	۷
۶-۲ انواع دیگر از ساختارهای دارای خازن متعدد.....	۷
۷-۲ اینورترهای مالتی سل.....	۸
۸-۲ اینورترهای چندسطحی ارایه شده در سال‌های اخیر.....	۱۰
۹-۲ ساختارهای دارای سلف تزویج یا ترانسفورماتور.....	۱۲
۱۰-۲ بررسی روش‌های کنترلی اعمالی به اینورترها.....	۱۴
۱-۱۰-۲ روش کنترلی مربعی (Staircase).....	۱۴
۲-۱۰-۲ روش کنترلی PWM.....	۱۵
۱-۲-۱۰-۲ روش کنترلی PDPWM.....	۱۵
۲-۲-۱۰-۲ روش کنترلی VAPDPWM.....	۱۵
۳-۲-۱۰-۲ روش کنترلی VFPWM.....	۱۶
۴-۲-۱۰-۲ روش کنترلی VAVFPWM.....	۱۶
۵-۲-۱۰-۲ روش کنترلی COPDPWM.....	۱۶
۶-۲-۱۰-۲ روش کنترلی VACOPDPWM.....	۱۷
۱۱-۲ بررسی ساختار و عملکرد پنل‌های خورشیدی.....	۱۸
۱-۱۱-۲ روابط جریان- ولتاژ مازول PV.....	۱۹
۲-۱۱-۲ طرح مسئله MPPT.....	۲۱
۱-۲-۱۱-۲ روش IC.....	۲۱
۲-۲-۱۱-۲ روش انطباق مقاومتی.....	۲۲
۱۲-۲ بررسی اینورترهای با کاربرد در سلول‌های خورشیدی.....	۲۵

۲۸	خلاصه و نتیجه‌گیری	۱۳-۲
۳۰	ساختارها و الگوریتم‌های پیشنهادی	۳
۳۰	مقدمه	۱-۳
۳۰	ساختار پایه اینورتر پیشنهادی	۲-۳
۳۷	مدولاسیون پهنای باند (PD) بهبودیافته:	۳-۳
۳۹	ساختارهای تعمیم‌یافته مبدل پیشنهادی:	۴-۳
۳۹	تعمیم سری اینورتر پایه	۱-۴-۳
۴۰	مقادیر منابع و ضریب سیم‌پیچی ترانسفورماتورها برابر	۱-۱-۴-۳
۴۰	مبدل پیشنهادی ۱ ماجوله	۱-۱-۴-۳
۴۰	مبدل پیشنهادی ۲ ماجوله	۲-۱-۴-۳
۴۰	مبدل پیشنهادی m ماجوله	۳-۱-۴-۳
۴۰	مقادیر منابع نابرابر و ضریب سیم‌پیچی ترانسفورماتورها برابر	۲-۱-۴-۳
۴۰	مبدل پیشنهادی ۱ ماجوله	۱-۲-۴-۳
۴۱	مبدل پیشنهادی ۲ ماجوله	۲-۲-۴-۳
۴۱	مبدل پیشنهادی m ماجوله	۳-۲-۴-۳
۴۱	مقادیر منابع برابر و ضریب سیم‌پیچی ترانسفورماتورها نابرابر	۳-۱-۴-۳
۴۱	مبدل پیشنهادی ۱ ماجوله	۱-۳-۴-۳
۴۱	مبدل پیشنهادی ۲ ماجوله	۲-۳-۴-۳
۴۱	مبدل پیشنهادی m ماجوله	۳-۳-۴-۳
۴۲	تعمیم از دیدگاه ترانسفورماتور	۲-۴-۳
۴۲	مبدل پیشنهادی ۷ سطحی	۱-۲-۴-۳
۴۲	مبدل پیشنهادی ۱۵ سطحی	۲-۲-۴-۳
۴۳	مبدل پیشنهادی در حالت کلی	۳-۲-۴-۳
۴۳	تعمیم از دیدگاه منبع ورودی	۳-۴-۳
۴۴	مبدل پیشنهادی ۷ سطحی	۱-۳-۴-۳
۴۴	مبدل پیشنهادی ۱۵ سطحی	۲-۳-۴-۳
۴۴	مبدل پیشنهادی در حالت کلی	۳-۳-۴-۳
۴۵	اعمال MPPT در مبدل پیشنهادی:	۵-۳
۴۶	طراحی ترانسفورماتور به کار رفته در اینورتر پیشنهادی	۶-۳
۴۸	محاسبه تلفات در مبدل پیشنهادی	۷-۳
۴۸	تلفات نیمه‌هادی‌ها	۱-۷-۳
۴۹	تلفات ترانسفورماتور	۲-۷-۳
۴۹	خلاصه و نتیجه‌گیری	۸-۳

۵۱	مقایسه اینورتر پیشنهادی با اینورترهای موجود	۴
۵۱	مقدمه	۴-۱
۵۱	مقایسه از دیدگاه اجزاء سازنده	۴-۲
۵۲	مقایسه از دیدگاه تنش ولتاژ اینورتر	۴-۳
۵۳	مقایسه از دیدگاه بهره ولتاژ خروجی اینورتر	۴-۴
۵۴	مقایسه از دیدگاه هزینه، حجم و وزن سیستم	۴-۵
۵۴	مقایسه ساختارهای تعمیر یافته پیشنهادی	۴-۶
۵۵	تعداد سطوح ولتاژ تولیدی	۴-۶-۱
۵۶	سایز منابع ورودی	۴-۶-۲
۵۶	تنش ولتاژ	۴-۶-۳
۵۷	ساختار Inv_1	۴-۶-۳-۱
۵۷	ساختار Inv_2	۴-۶-۳-۲
۵۷	ساختار Inv_3	۴-۶-۳-۳
۵۷	ساختار Inv_4	۴-۶-۳-۴
۵۷	ساختار Inv_5	۴-۶-۳-۵
۵۸	خلاصه و نتیجه گیری	۴-۷
۶۰	نتایج شبیه سازی و آزمایشگاهی	۵
۶۰	مقدمه	۵-۱
۶۰	نتایج شبیه سازی	۵-۲
۶۱	اعمال روش کنترلی مربعی	۵-۲-۱
۶۱	اعمال روش کنترلی PDPWM بهبود یافته	۵-۲-۲
۶۳	مقایسه روش کنترلی PDPWM مرسوم و بهبود یافته	۵-۲-۳
۶۵	بررسی عملکرد دینامیکی اینورتر پیشنهادی در تغییرات مقادیر منبع ورودی و بار خروجی	۵-۲-۴
۶۶	بررسی عملکرد اینورتر پیشنهادی برای تحویل بیشینه توان از منابع PV	۵-۲-۵
۶۷	مقادیر دما و بار خروجی ثابت، مقدار تابش متغیر	۵-۲-۵-۱
۶۸	مقادیر تابش و بار خروجی ثابت، مقدار دما متغیر	۵-۲-۵-۲
۶۹	مقادیر دما و تابش ثابت، مقدار بار خروجی متغیر	۵-۲-۵-۳
۷۰	نتایج آزمایشگاهی	۵-۳
۷۱	اعمال روش کنترلی مربعی و بررسی عملکرد ترانسفورماتور	۵-۳-۱
۷۲	اعمال روش کنترلی PWM	۵-۳-۲
۷۳	خلاصه و نتیجه گیری	۵-۴

۶	نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....	۷۵
۱-۶	نتیجه‌گیری.....	۷۵
۲-۶	پیشنهادات.....	۷۶
۷	مراجع.....	۷۸
۱-۷	مراجع.....	۷۸

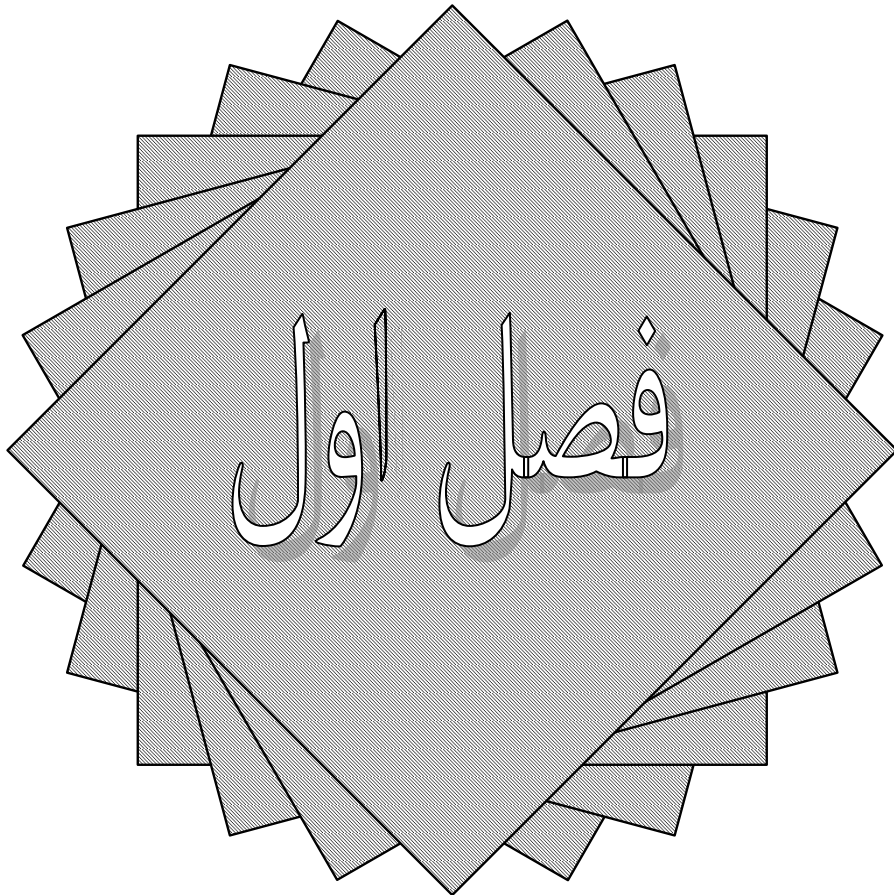
جدول ۱-۲: حالات کلپزری در انورتر با سلف تزویج [۲۴].....	۱۳
جدول ۲-۲: حالات کلپزری در انورتر ۷ سطحی با ترانسفورماتور [۲۵].....	۱۴
جدول ۳-۲: مقایسه THD ولتاژ خروجی برای روش‌های کنترلی PWM مختلف (بر حسب درصد).....	۱۸
جدول ۴-۲: مقایسه مقدار مؤثر ولتاژ خروجی برای روش‌های کنترلی PWM مختلف.....	۱۸
جدول ۵-۲: مشخصات مایجول PV استفاده شده در پالکن نامه.....	۲۰
جدول ۱-۳: حالات کلپزری انورتر پیشنهادی.....	۳۶
جدول ۲-۳: تعداد اجزا مبدل پیشنهادی.....	۴۳
جدول ۳-۳: تعداد اجزا مبدل پیشنهادی.....	۴۵
جدول ۱-۴: تعداد قطعات انورتر پیشنهادی و انورترهای موجود برای توایچ ولتاژ هفت سطحی.....	۵۲
جدول ۲-۴: مقایسه تنش ولتاژ ساختار ۷ سطحی ارائه شده با انورترهای مرسوم و [۲۵] و [۲۳-۲۱].....	۵۲
جدول ۳-۴: مقایسه بهره ولتاژ انورتر پیشنهادی ۷ سطحی با انورترهای مرسوم و [۲۵] و [۲۳-۲۱].....	۵۳
جدول ۴-۴: هزینه قطعات استفاده شده.....	۵۴
جدول ۵-۴: هزینه سربستم پیشنهادی و سربستم‌های [۲۵] و [۲۳-۲۱].....	۵۴
جدول ۶-۴: مقایسه هزینه، ابعاد و وزن باتری خودرو و ترانسفورماتور.....	۵۴
جدول ۷-۴: مقایسه ساختارهای تعمیر یافته پیشنهادی.....	۵۵
جدول ۸-۴: تعداد سطوح ولتاژ توایچی توسط هر کلپ در ساختارهای پیشنهادی.....	۵۵
جدول ۹-۴: مقادیر منابع ورودی برای توایچ پیشنهادی سطح ولتاژ یکسان در ساختارهای پیشنهادی.....	۵۶
جدول ۱-۵: مقادیر عناصر مورد استفاده در شش‌سازی برای انورتر ۷ سطحی پیشنهادی.....	۶۰
جدول ۲-۵: مقادیر ولتاژ و جرکلن پنل در نقطه پیشنهادی توان در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد.....	۶۷
جدول ۳-۵: مقادیر ولتاژ و جرکلن پنل در نقطه پیشنهادی توان در تابش ۱۰۰۰ وات بر متر مربع.....	۶۷
جدول ۴-۵: مقادیر اجزاء بکار رفته در مدار عملی.....	۷۰

شکل ۱-۲:	انخورتر کاسکاد مرسوم	۴
شکل ۲-۲:	ساختارهای بهبود یافته کاسکاد	۶
شکل ۳-۲:	ساختار انخورتر دپد کلمپ [۳]	۷
شکل ۴-۲:	ساختار انخورتر خازن کلمپ [۳]	۷
شکل ۵-۲:	انواع ساختارهای با خازن متعدد	۸
شکل ۶-۲:	انخورتر FCM ارای شده در [۱۴]	۹
شکل ۷-۲:	انخورتر SM ارای داده شده در [۱۶]	۹
شکل ۸-۲:	انخورتر DFCM ارای داده شده در [۱۹]	۹
شکل ۹-۲:	ساختار ۷ سطحی ارای شده در [۲۱]	۱۰
شکل ۱۰-۲:	حالات کلچیزی در انخورتر ارای شده در [۲۱]	۱۰
شکل ۱۱-۲:	ساختار ارای شده در [۲۲]	۱۱
شکل ۱۲-۲:	حالات کلچیزی در انخورتر ارای شده در [۲۲]	۱۲
شکل ۱۳-۲:	ساختار ارای شده در [۲۳]	۱۲
شکل ۱۴-۲:	ساختار ارائه شده با سلف تزویج [۲۴]	۱۳
شکل ۱۵-۲:	ساختار ارائه شده با ترانسفورماتور [۲۵]	۱۳
شکل ۱۶-۲:	ساختار ۷ سطحی انخورتر با ترانسفورماتور [۲۵]	۱۴
شکل ۱۷-۲:	روش کنترلی PDPWM	۱۵
شکل ۱۸-۲:	روش کنترلی VAPDPWM	۱۵
شکل ۱۹-۲:	روش کنترلی VFPWM	۱۶
شکل ۲۰-۲:	روش کنترلی VAVFPWM	۱۶
شکل ۲۱-۲:	روش کنترلی COPDPWM	۱۷
شکل ۲۲-۲:	روش کنترلی VACOPDPWM	۱۷
شکل ۲۳-۲:	انخورتر چند سطحی کاسکاد ارای شده در [۲۶]	۱۷
شکل ۲۴-۲:	شماعیک سلول خورشیدی	۱۹
شکل ۲۵-۲:	مدل الکتریکی سلول نوری	۱۹
شکل ۲۶-۲:	تغییرات جرطن و توان ماجول PV نسبت به ولتاژ PV برای شدت روشنایی متفاوت و دمای استاندارد	۲۱
شکل ۲۷-۲:	تغییرات جرطن و توان ماجول PV نسبت به ولتاژ PV برای درجه حرارت های متفاوت و شدت روشنایی استاندارد	۲۱
شکل ۲۸-۲:	فلوچارت الگوریتم IC	۲۲
شکل ۲۹-۲:	شماعیک اتصال سلول خورشیدی به بار توسط مبدل	۲۳
شکل ۳۰-۲:	شماعیک مقاومت معادل ورودی	۲۳
شکل ۳۱-۲:	نمودار مقاومت معادل	۲۳
شکل ۳۲-۲:	نواحی عملکرد مبدل ها برای MPPT	۲۵
شکل ۳۳-۲:	ساختار ارای شده در [۳۲]	۲۶
شکل ۳۴-۲:	(الف)-(پ) رجه سوکل مثبت، (ت)-(ج) رجه سوکل منفی	۲۶

- شکل ۲-۳۵: ساختارهای انجورتری با استفاده از میدل‌های کاهنده و افزاینده [۳۳]..... ۲۷
- شکل ۲-۳۶: ساختار ارایع شده در [۳۴]..... ۲۷
- شکل ۲-۳۷: مدهای کاری میدل ارایع شده در [۳۴]..... ۲۸
- شکل ۳-۱: ساختار پایع انجورتر پیشنهادی..... ۳۰
- شکل ۳-۲: ولتاژ خروجی صفر..... ۳۱
- شکل ۳-۳: ولتاژ خروجی E ۳۲
- شکل ۳-۴: ولتاژ خروجی $\frac{n_1}{n_2} E$ ۳۳
- شکل ۳-۵: ولتاژ خروجی $(\frac{n_1}{n_2} + 1)E$ ۳۳
- شکل ۳-۶: ولتاژ خروجی $-E$ ۳۴
- شکل ۳-۷: ولتاژ خروجی $-\frac{n_1}{n_2} E$ ۳۵
- شکل ۳-۸: ولتاژ خروجی $-(\frac{n_1}{n_2} + 1)E$ ۳۶
- شکل ۳-۹: ولتاژ هفت سطحی خروجی انجورتر، ولتاژ خروجی سه سطحی قبل از ترانسفورماتور و ولتاژ دو سر ترانسفورماتور..... ۳۷
- شکل ۳-۱۰: موج‌های مرجع و حامل در مدولاسیون اعمال شده در انجورتر پیشنهادی..... ۳۸
- شکل ۳-۱۱: ساختار سری انجورتر پیشنهادی..... ۳۹
- شکل ۳-۱۲: میدل پیشنهادی تعمیم یافته از ترانسفورماتور..... ۴۲
- شکل ۳-۱۳: میدل پیشنهادی تعمیم یافته از منابع ورودی..... ۴۴
- شکل ۳-۱۴: منحنی‌های ولتاژ القا شده و فلوی مغناطیسی روی ترانسفورماتور..... ۴۶
- شکل ۳-۱۵: ساختار پیشنهادی و ساختارهای ارائه شده در [۲۵] و [۲۱-۲۳]..... ۵۱
- شکل ۴-۲: نمودار لگاریتمی تعداد سطوح ولتاژ تولیدی به‌ازای تعداد کلکها..... ۵۵
- شکل ۴-۳: اندازه منابع ساختارهای Inv_1 ، Inv_2 ، Inv_3 ، و Inv_5 ۵۶
- شکل ۴-۴: مقایسه تنش ولتاژ ساختارهای $Inv_1 - Inv_5$ ۵۸
- شکل ۵-۱: مدار شعی‌سازی شده برای ساختار پایع پیشنهادی..... ۶۰
- شکل ۵-۲: ولتاژ هفت سطحی خروجی انجورتر، ولتاژ خروجی سه سطحی قبل از ترانسفورماتور و ولتاژ دو سر ترانسفورماتور..... ۶۱
- شکل ۵-۳: ولتاژ و جرکلن خروجی انجورتر در $M_a = 0.3, 0.6, 0.9$ ۶۱
- شکل ۵-۴: پالس‌های آتش کلکها در انجورتر پیشنهادی برای $M_a = 0.3$ ۶۲
- شکل ۵-۵: پالس‌های آتش کلکها در انجورتر پیشنهادی برای $M_a = 0.6$ ۶۲
- شکل ۵-۶: پالس‌های آتش کلکها در انجورتر پیشنهادی برای $M_a = 0.9$ ۶۳
- شکل ۵-۷: روش مدولاسیون پهنای باند PDPWM مرسوم و روش کنترلی پیشنهادی در $n_1 : n_2 = 3 : 1$ ۶۴
- شکل ۵-۸: روش مدولاسیون پهنای باند PDPWM مرسوم و روش کنترلی پیشنهادی در $n_1 : n_2 = 4 : 1$ ۶۵
- شکل ۵-۹: ولتاژ و جرکلن خروجی انجورتر در $M_a = 0.3, 0.6, 0.9$ در تغییرات ولتاژ ورودی..... ۶۶
- شکل ۵-۱۰: ولتاژ و جرکلن خروجی انجورتر در $M_a = 0.3, 0.6, 0.9$ در تغییرات بار خروجی..... ۶۶
- شکل ۵-۱۱: (الف) تابش، شاخص مدولاسیون، ولتاژ پیل، جرکلن پیل و ولتاژ خروجی انجورتر، (ب) بزرگ‌شده‌ی ولتاژ خروجی..... ۶۸

- شکل ۵-۱۲: (الف) دما، شاخص مدولاسیون، ولتاژ پنل، جرکن پنل و ولتاژ خروجی انورتور، (ب) بزرگ شده‌ی ولتاژ خروجی..... ۶۹
- شکل ۵-۱۳: (الف) بار، شاخص مدولاسیون، ولتاژ پنل، جرکن پنل و ولتاژ خروجی انورتور، (ب) بزرگ شده‌ی ولتاژ خروجی..... ۷۰
- شکل ۵-۱۴: نمونه آزمایشگاه‌ی انورتور پیشنهادی..... ۷۱
- شکل ۵-۱۵: به ترتیب از بالا به پایین، ولتاژ خروجی انورتور، ولتاژ انورتور قبل از ترانسفورماتور و ولتاژ دو سر ترانسفورماتور..... ۷۱
- شکل ۵-۱۶: پالس آتش کاپهای S_1, S_2, S_3 ۷۲
- شکل ۵-۱۷: پالس آتش کاپهای $S_1 - S_6$ ۷۲
- شکل ۵-۱۸: ولتاژ کاپهای $S_1 - S_6$ ۷۳
- شکل ۵-۱۹: ولتاژ و جرکن خروجی انورتور با شاخص مدولاسیون $M_a = 0.9$ ، برای توایه ولتاژ هفت سطحی..... ۷۳

بخش اول: بررسی منابع



مقدمه

۱ مقدمه

۱-۴ مقدمه

در اینورترهای چندسطحی برای تولید ولتاژ چندسطحی عمدتاً از چند منبع DC یا از چند خازن استفاده می‌شود که در همین راستا ساختارهای بسیاری در سال‌های اخیر معرفی شده است. رایج‌ترین اینورترهای معرفی شده اینورترهای کاسکاد^۱، دیود کلمپ^۲ و خازن کلمپ^۳ می‌باشند. در اینورتر کاسکاد مرسوم و اینورترهایی که بر پایه این اینورتر برای بهبود آن معرفی شده‌اند، برای تولید ولتاژ چندسطحی نیاز به منابع DC جدا از هم می‌باشد. عدم وجود منابع DC جدا از هم به طور هم‌زمان و یا ترانسفورماتور با خروجی‌های متعدد، موجب عدم عملکرد مناسب این اینورترها می‌شود. همچنین وجود منابع متعدد و ترانسفورماتور با خروجی‌های متعدد باعث افزایش حجم، وزن و هزینه اینورتر خواهد شد.

روش دیگر برای تولید ولتاژ چندسطحی استفاده از خازن‌های سری به جای منابع DC متعدد می‌باشد. در اینورترهای دیود کلمپ و خازن کلمپ برای تولید ولتاژ چندسطحی از دیودها و خازن‌های سری استفاده می‌شود، ولی برای عملکرد عادی اینورتر، ولتاژ خازن‌ها باید در اندازه مشخص ثابت نگه داشته شوند که باعث پیچیده شدن سیستم کنترلی می‌شود. در این اینورترها، در صورت بروز اختلال در سیستم کنترلی و عدم کارکرد صحیح آن و در نتیجه عدم تعادل ولتاژ خازن‌ها، اینورتر ولتاژ مناسب تولید نکرده و باعث کاهش قابلیت اطمینان اینورتر خواهد شد. همچنین در ساختار اینورترهای موجود، از تعداد بالای کلیدهای قدرت استفاده شده است که باعث افزایش تلفات می‌شود. اینورترهای مرسوم در بهترین شرایط دارای بهره ولتاژ واحد می‌باشند، در نتیجه برای استفاده در صنایع با ولتاژ بالا و توان‌های بالا نیازمند منابع DC بزرگ می‌باشند. تنش ولتاژ کلیدهای قدرت در ساختارهای موجود بالا بوده و در نتیجه برای تحمل ولتاژ معکوس نیازمند کلیدهای قدرت بزرگ می‌باشند که باعث افزایش هزینه اینورتر می‌شود. همچنین برای تولید ولتاژ چندسطحی از ساختارهای با سلف تزویج و یا ترانسفورماتور نیز استفاده می‌شود که توانایی افزایش بهره ولتاژ را دارا می‌باشند. اما در این ساختارها، تعداد زیاد کلیدهای قدرت و سلف‌ها و ترانسفورماتورها باعث افزایش هزینه، حجم و تلفات اینورتر می‌شود.

با توجه به مشکلات مطرح شده در اینورترهای موجود برای کاربردهای انرژی‌های تجدیدپذیر، هدف در این پایان نامه، طراحی اینورتری با قابلیت افزایش ولتاژ ورودی مناسب برای کاربردهای انرژی‌های فتوولتاییک می‌باشد که نسبت به اینورترهای موجود، تا حد امکان مناسب‌تر باشد.

¹ Cascaded

² Diode Clamped

³ Capacitor Clamped



بررسی منابع

۲ بررسی منابع

۲-۱ مقدمه

مبدل‌های چندسطحی به دلیل توانایی تولید سطوح ولتاژ متعدد، در کاربردهای توان بالا و انرژی‌های نو پیشرفت‌های فراوانی کرده‌اند. اما از مشکلات عمده آن‌ها، تعداد ادوات زیاد، تنش ولتاژ زیاد روی کلیدها، در تعادل نگه‌داشتن ولتاژ خازن‌های موجود در ساختار و وجود منابع DC متعدد را می‌توان نام برد. در اینورترهای چندسطحی، روش‌های کنترلی متفاوتی برای تولید ولتاژ مناسب وجود دارد که با توجه به کیفیت ولتاژ خروجی و کاربرد اینورتر مربوطه، می‌توان از روش کنترلی متناسب بهره برد.

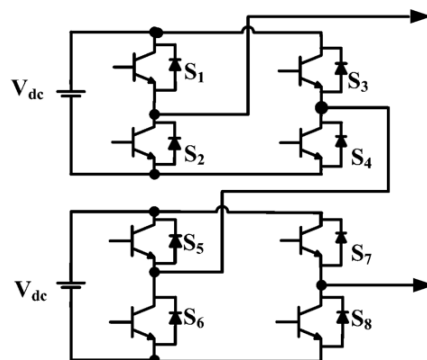
همچنین در انواع اینورترهای چندسطحی برای کاربردهای سلول‌های خورشیدی، باید توانایی افزایش ولتاژ ورودی در کنار اعمال MPPT برای آن وجود داشته باشد. در این قسمت، ساختارهای مرسوم و جدید متفاوتی در رابطه با انواع اینورترها، روش‌های کنترلی موجود و اینورترهای با کاربردهای پنل‌های خورشیدی بررسی می‌گردد. همچنین ساختار پنل‌های خورشیدی، روابط جریان و ولتاژ با در نظر گرفتن شرایط جوی و روش‌های تحویل بیشینه توان از آن‌ها نیز در این قسمت بررسی خواهد شد.

۲-۲ بررسی منابع

برای اینکه اینورترها در کاربردهای توان بالا کارایی مناسبی داشته باشند، اینورترهای چند سطحی از توجه بالایی برخوردار می‌باشند [۱]. در اینورترهای چندسطحی برای تولید ولتاژ چندسطحی عمدتاً از چند منبع DC یا از چند خازن استفاده می‌شود که در همین راستا ساختارهای بسیاری در سال‌های اخیر معرفی شده است. رایج‌ترین اینورترهای معرفی شده اینورترهای کاسکاد، دیود کلمپ و خازن کلمپ می‌باشند [۲-۴].

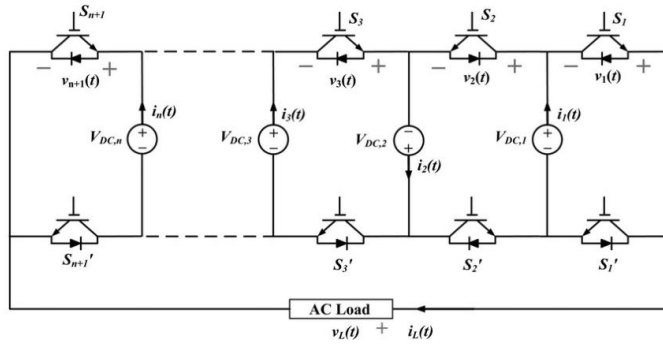
۲-۳ اینورتر کاسکاد

در اینورتر کاسکاد مرسوم و اینورترهایی که بر پایه این اینورتر برای بهبود آن معرفی شده‌اند، برای تولید ولتاژ چندسطحی نیازمند به منابع DC جدا از هم می‌باشد [۲]. ساختار ۵ سطحی اینورتر کاسکاد مرسوم در شکل ۲-۱ مشاهده می‌شود.

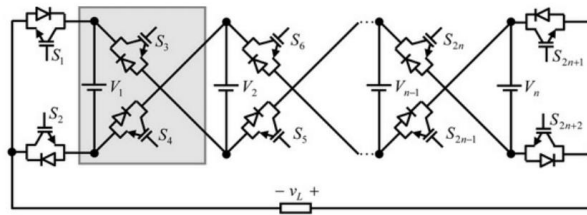


شکل ۲-۱: اینورتر کاسکاد مرسوم

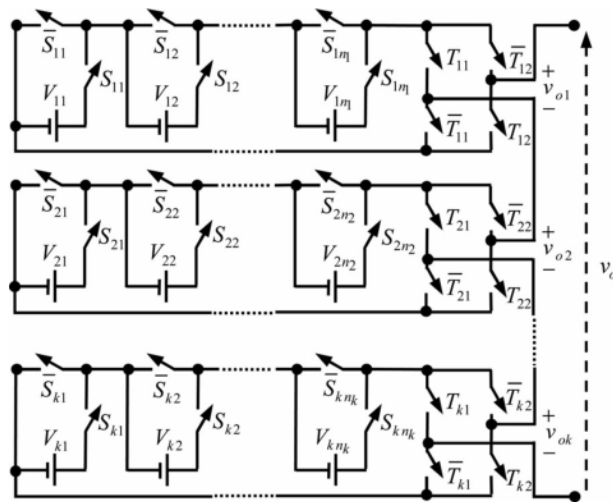
ساختارهایی برای بهبود اینورترهای کاسکاد در راستای کاهش ادوات معرفی شده‌اند که در شکل ۲-۲ مشاهده می‌شوند [۵-۹].



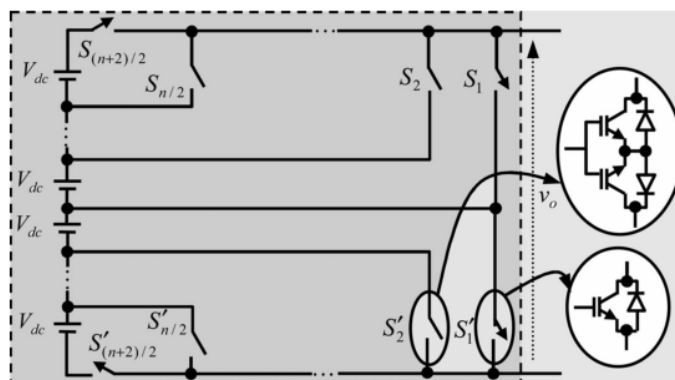
(الف) ساختار ارایه شده در [۵]



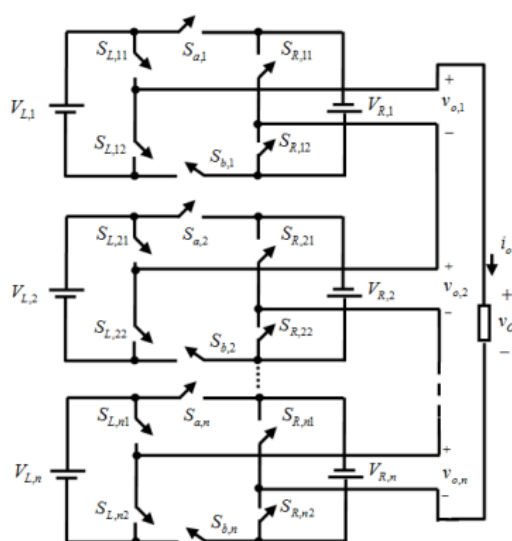
(ب) ساختار ارایه شده در [۶]



(ب) ساختار ارایه شده در [۷]



(ب) ساختار ارایه شده در [۸]



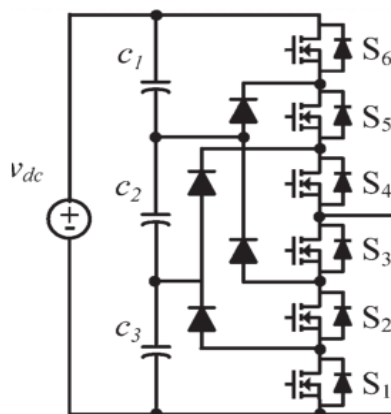
(ب) ساختار ارایه شده در [۹]

شکل ۲-۲: ساختارهای بهبودیافته کاسکاد

عدم وجود منابع DC جدا از هم به طور همزمان و یا ترانسفورماتور با خروجی های متعدد ، موجب عدم عملکرد مناسب اینگونه اینورترها در صنعت می شود. همچنین وجود منابع متعدد و ترانسفورماتور با خروجی های متعدد باعث افزایش حجم، وزن و هزینه مبدل خواهد شد.

۲-۴ اینورتر دیود کلمپ

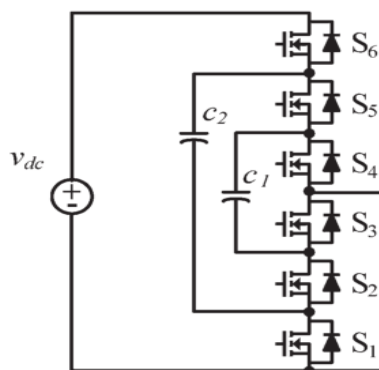
ساختار این اینورترها در شکل ۲-۳ مشاهده می شوند [۳]. در این اینورترها بجای منابع DC متعدد، از خازن ها و دیودهای کلمپ برای تولید ولتاژ چندسطحی استفاده می شود. تعداد زیاد دیودها و همچنین وجود خازن ها و مشکلات در تعادل نگهداشتن ولتاژ آنها از مشکلات این اینورترها محسوب می شود.



شکل ۲-۳: ساختار اینورتر دیود کلمپ [۳]

۲ ۵ اینورتر خازن کلمپ

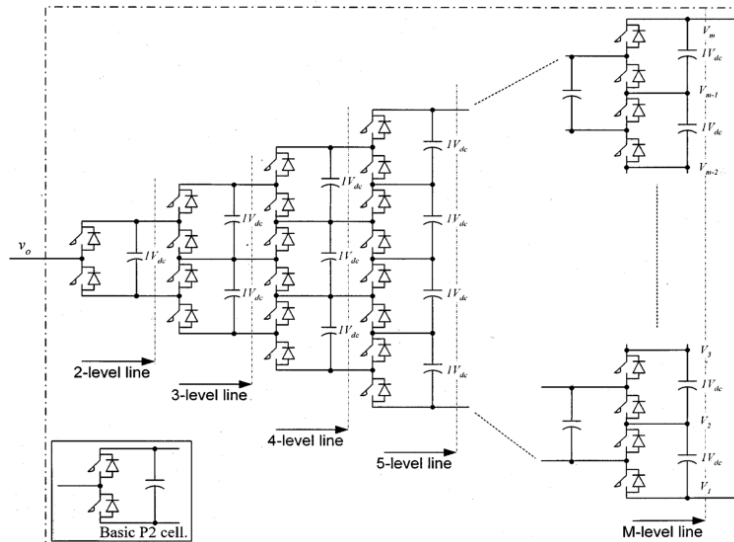
روش دیگر برای تولید ولتاژ چند سطحی استفاده از خازن‌های سری به جای منابع DC متعدد می‌باشد. در اینورتر خازن کلمپ، برای تولید ولتاژ چند سطحی از دیودهای کلمپ استفاده نشده و از خازن‌های سری استفاده می‌شود [۴]. ساختار این اینورترها در شکل ۲-۴ مشاهده می‌شود. وجود خازن‌ها و مشکلات در تعادل نگه‌داشتن ولتاژ آن‌ها از مشکلات عمده این اینورترها محسوب می‌شود.



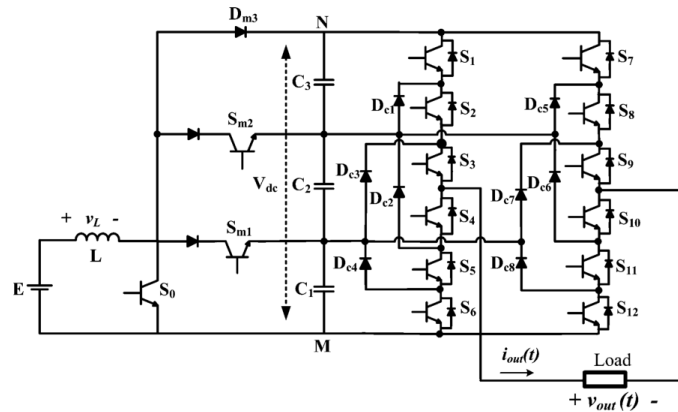
شکل ۲-۴: ساختار اینورتر خازن کلمپ [۴]

۲ ۶ انواع دیگر از ساختارهای دارای خازن متعدد

در ساختارهای شکل ۲-۵، انواع دیگر مبدل‌ها که در آن‌ها خازن‌های متعدد وجود دارد، مشاهده می‌شوند [۱۰ و ۱۱].



(الف) ساختار ارایه شده در [۱۰]



(ب) ساختار ارایه شده در [۱۱]

شکل ۲-۵: انواع ساختارهای با خازن متعدد

در اینگونه اینورترها برای عملکرد عادی مبدل، ولتاژ خازن‌ها باید در اندازه مشخص ثابت نگه‌داشته شوند که باعث پیچیده شدن سیستم کنترلی می‌شود [۱۲ و ۱۳]. در این اینورترها، در صورت بروز اختلال در سیستم کنترلی و عدم کارکرد صحیح آن و در نتیجه عدم تعادل ولتاژ خازن‌ها، اینورتر مذکور ولت‌مناسب تولید نکرده و باعث کاهش قابلیت اطمینان اینورتر خواهد شد. همچنین در ساختار اینورترهای موجود، از تعداد بالای کلید قدرت استفاده شده است که باعث افزایش تلفات می‌شود.

۲-۴ اینورترهای مالتی سل

از انواع دیگر اینورترهای مناسب برای کاربردهای توان بالا، می‌توان از اینورترهای مالتی سل نام برد [۱۴-۱۹]. مبدل‌های FCM، [۱۴] و [۱۵] و مشتقات آن‌ها، مبدل‌های SM، [۱۶-۱۸] مزایای زیادی را برای کاربردهای ولتاژ متوسط از جمله توانایی در تعادل نگه داشتن ولتاژ خازن‌های شناور در سطح ولتاژ دلخواه بصورت طبیعی دارا می‌باشند [۲۰]. شکل ۲-۶ ساختار کلی یک FCM را نشان می‌دهد.