بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه کاشان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته برق-قدرت

عنوان:

بررسی، شبیه سازی و ساخت اینورتر سه فاز سه سطحی به روش کاهش هارمونیکهای انتخابی SHM-PWM

استاد راهنما:

دکتر عباس کتابی

به وسیله:

محمد علی سریار

بهمن ماه ۱۳۸۹

بسمه تعالی

تاریخ:
شماره:
پیوست:

دانشگاه کاشان
دانشکده مهندسی

مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

نام و نام خانوادگی دانشجو: محمدعلی سریار شماره دانشجویی: ۸۷۳۳۱۱۰۲۰۳

رشته : مهندسی برق -قدرت دانشکده : مهندسی

عنوان پایان نامه : بررسی شبیه سازی و ساخت اینورتر سه فاز سه سطحی به روش کاهش هارمونیک های انتخابی SHM-PWM

تعداد واحد پایان نامه : ۹ واحد تاریخ دفاع: ۸۹/۱۱/۳۰

این پایان‌نامه به مدیریت تحصیلات تکمیلی به منظور بخشی از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد ارایه می‌گردد. دفاع از پایان نامه در تاریخ ۸۹/۱۱/۳۰ مورد تأیید و ارزیابی هیات داوران قرار گرفت و با نمره ۱۹,۸۳ و درجه عالی به تصویب رسید.

اعضاء هیات داوران

عنوان	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱. استاد راهنما	دکتر عباس کتابی	استادیار	
۳ـ متخصص و صاحب نظر از داخل دانشگاه	دکتر ابوالفضل حلوایی	استادیار	
٤. متخصص و صاحب نظر از داخل دانشگاه	دکتر حمیدرضا محمدی	استادیار	
۵. نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه	دکتر بابک گنجی	استادیار	

آدرس: کاشان-بلوار قطب راوندی
کدپستی ۸۷۳۱۷-۵۱۱۶۷
تلفن: ۵۵۵۹۹۳۰-دورنگار: ۵۵۵۹۹۳۰
http: www.kashanu.ac.ir

تقدیم به :

تمامی پویندگان طریقت علم و معرفت

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس خدای را که توفیق کسب دانش و معرفت را به ما عطا فرمود. در اینجا بر خود لازم می دانم از تمامی اساتید بزرگوار بویژه اساتید دوره کارشناسی ارشد که در طول سالیان گذشته مرا در تحصیل علم و معرفت و فضائل اخلاقی یاری نموده اند تقدیر و تشکر نمایم.

از استاد گرامی و بزرگوار جناب آقای دکتر کتابی که راهنمایی اینجانب را در انجام تحقیق،پژوهش و نگارش این پایان نامه تقبل نموده اند نهایت تشکر و سپاسگذاری را دارم.

همچنین از تشریک مساعی آقایان دکتر محمدی و دکتر حلوائی بعنوان اساتید داور که این پایان نامه را مورد مطالعه قرارداده و در جلسه دفائیه شرکت نموده اند تشکر می نمایم.

در پایان از جناب آقای دکتر گنجی که بعنوان نماینده تحصیلات تکمیلی قبول زحمت نموده اند سپاسگزاری می نمایم.

چکیده :

استفاده از کانورترهای منبع ولتاژ چند سطحی در سیستم های انرژی و قدرت به دلیل ظرفیت توان بالا، عملکرد عالی و قابلیت اطمینان بالای آن ، رواج زیادی پیدا کرده است. این کانورترها در مقایسه با کانورتر های دو سطحی دارای ولتاژ مود مشترک پایین تر ، d_v/d_t کمتر ، فرکانس سوئیچینگ پایینتر، هارمونیکهای کمتر در ولتاژ و جریان خروجی و ولتاژ کاهش یافته در سوئیچهای قدرت می باشند.

در کاربردهای توان بالا و متوسط کنترل هارمونیکهای سیگنال خروجی کانورتر های قدرت بسیار حائظ اهمیت می باشد و محتویات هارمونیکی ولتاژ خروجی بایستی تا جایی که امکان دارد کاهش داده شود. در چنین کاربردهایی تلفات حرارتی در نیمه هادی های قدرت، حداکثر فرکانس سوئیچینگ را کاهش می دهد. بنابراین کانورترهای چند سطحی، مناسبترین سیستم قدرت قابل استفاده می باشند.

مسئله عمده در ارتباط با کانورتر های چند سطحی حذف هارمونیکهای ولتاژ خروجی آنها میباشد. از آنجایی که قوانین شبکه محدودیتهای خاصی را برای هارمونیکها و اغتشاش هارمونیکی تجمعی تعیین کرده است، به منظور برآوردن نیاز ها و استانداردهای تعیین شده برای شبکه، نیاز است تکنیکهای مدولاسیون و سیستم های فیلترینگ ویژه ای استفاده گردد. یکی از تکنیکهای مدولاسیون مورد توجه برای کاربردهای توان بالا ، تکنیک کاهش هارمونیک های انتخابی میباشد. این روش عملکرد قابل قبولی با فرکانس سوئیچینگ پایین و قابلیت کنترل مستقیم هارمونیکهای خروجی را دارد و قادر است سیگنال خروجی با محتویات هارمونیکی کمتر نسبت به تکنیکهای دیگر، تولید کند و نیاز به سیستم فیلترینگ حجیم و پر هزینه تا حد زیادی کاهش می یابد.

کلمات کلیدی : کانورتر منبع ولتاژ چند سطحی ، حذف هارمونیک انتخابی ، کاهش هارمونیک انتخابی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول : مقدمه

۱-۱- ساختار اینورترهای چندسطحی ۱
۱-۱-۱- اینورتر دیود-نگهدارنده ۴
۱-۱-۲- اینورتر خازن-نگهدارنده ۶
۱-۱-۳- اینورتر چند سلولی آبشاری ۸
۱-۱-۴- سلولهای چند سطحی تعمیم یافته ۹
۱-۱-۵- اینورتر چند سطحی هیبرید ۱۰
۱-۱-۶- اینورتر چند سطحی هیبرید نامتقارن ۱۱
۱-۱-۷- اینورتر چند سطحی نرم سوئیچ شونده ۱۲
۱-۲- روشهای کنترلی و مدولاسیون ۱۳
۱-۲-۱- تکنیک مدولاسیون پهنای باند سینوسی چند سطحی ۱۴
۱-۲-۲- مدولاسیون بردار فضایی ۱۶
۱-۲-۳- تکنیک حذف هارمونیک انتخابی ۱۷
۱-۲-۴- تکنیک کاهش هارمونیک انتخابی ۱۹
۱-۲-۵- کنترل بردار فضایی ۲۰
۱-۳- برخی از کاربردهای اینورترهای چند سطحی ۲۱
۱-۳-۱- واسط منابع انرژی تجدیدپذیر ۲۱
۱-۳-۲- کنترل و جبرانسازی توان راکتیو ۲۲
۱-۳-۳- تنظیم ولتاژ و شیفت فاز ۲۲
۱-۳-۴- فیلتر کردن هارمونیک ۲۳
۱-۳-۵- کاربرد به عنوان کنترل کننده پخش توان یکپارچه ۲۳
۱-۳-۶- کانورتر dc به dc ۲۴

فصل دوم : بیان ریاضی مسئله SHE و SHM

۲-۱- مسئله SHE برای اینورتر دیود نگهدارنده سه سطحی ۲۵
۲-۲- مسئله SHM برای اینورتر دیود نگهدارنده سه سطحی ۲۷
۲-۳- مسئله SHE و SHM برای اینورتر چند سلولی آبشاری ۳۰
۲-۴- روشهای حل معادلات غیر خطی ۳۲
۲-۵- الگوریتم تکامل دیفرانسیلی ۳۳
۲-۵-۱- جهش ۳۵
۲-۵-۲- تقاطع ۳۶
۲-۵-۳- انتخاب ۳۷
۲-۵-۴- شبه دستورالعمل ۳۷

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۲-۶- انتخاب پارامترهای کنترلی الگوریتم تکامل دیفرانسیلی ۳۷
۲-۷- فلوچارت کلی الگوریتم تکامل دیفرانسیلی ۳۸

فصل سوم : مراحل ساخت اینورتر سه-سطحی دیود-نگهدارنده

۳-۱- اجزای تشکیل دهنده اینورتر ۳۹
۳-۱-۱- مدار قدرت اینورتر..... ۳۹
۳-۱-۲- مدار فرمان اینورتر ۴۱
۳-۲- میکروکنترلرهای AVR ۴۲
۳-۳- اپتوکوپلر..... ۴۴
۳-۴- فلوچارت برنامه میکروکنترلر ۴۷

فصل چهارم : نتایج شبیه سازی، نتایج تجربی ، نتیجه گیری

۴-۱- نتایج شبیه سازی تکنیک SHE ۵۰
۴-۲- نتایج شبیه سازی تکنیک SHM ۶۲
۴-۳- نتایج تجربی و آزمایشگاهی ۶۵
۴-۴- نتیجه گیری ۶۹

منابع و مآخذ ۷۲

پیوست ۱ ..... ۷۴

پیوست ۲ ..... ۸۲

فهرست شکلها

عنوان صفحه

شکل ۱-۱- شماتیک یک فاز از یک ساق اینورتر ۲
شکل ۱-۲- اینورتر دیود-نگهدارنده ۴
شکل ۱-۳- اینورتر خازن-نگهدارنده ۷
شکل ۱-۴- اینورتر نه-سطحی آبشاری ۸
شکل ۱-۵- سلول های چند سطحی تعمیم یافته ۹
شکل ۱-۶- اینورتر نه-سطحی هیبرید ۱۰
شکل ۱-۷- اینورتر پنج-سطحی هیبرید نامتقارن ۱۱
شکل ۱-۸- اینورتر پنج-سطحی هیبرید نامتقارن ۱۲
شکل ۱-۹- اینورتر خازن-نگهدارنده با سوئیچینگ نرم ۱۳
شکل ۱-۱۰- ولتاژ خروجی اینورتر سه-سطحی با حامل های شیفت یافته ۱۴
شکل ۱-۱۱- تاثیر شیفت فاز بر ولتاژ خروجی اینورتر هفت-سطحی ۱۵
شکل ۱-۱۲- دیاگرام بردار فضایی سه سطحی و پنج سطحی ۱۶
شکل ۱-۱۳- تاثیر افزایش اندیس مدولاسیون بر خروجی اینورتر..... ۱۹
شکل ۱-۱۴- محدوده بالاترین مجاورت در کنترل بردار فضایی ۲۱
شکل ۱-۱۵- خروجی یک سلول از اینورتر آبشاری با تکنیک کنترل بردار فضایی ۲۱
شکل ۱-۱۶- بردار مرجع و بردارهای تولید شده در روش کنترل بردار فضایی..... ۲۱
شکل ۱-۱۷- سیستم کنترل و جبران توان راکتیو ۲۲
شکل ۱-۱۸- بازیابنده و تنظیم کننده ولتاژ..... ۲۲
شکل ۱-۱۹- کنترل کننده پخش توان یکپارچه ۲۳
شکل ۱-۲۰- کانورتر dc به dc ۲۴
شکل ۲-۱- خروجی اینورتر سه سطحی دیود-نگهدارنده (روش SHEPWM) ۲۵
شکل ۲-۲- خروجی اینورتر چند سلولی آبشاری (روش SHEPWM)..... ۳۱
شکل ۲-۳- بردارهای دو بعدی تولید کننده بخشی از $v_{i,G+1}$ ۳۶
شکل ۲-۴- مکانیزم تقاطع بردارهای هفت-بعدی ۳۷
شکل ۲-۵- فلوچارت کلی الگوریتم تکامل دیفرانسیلی ۳۸
شکل ۳-۱- شماتیک ماسفت IRF۷۴۰ ..... ۴۰
شکل ۳-۲- مشخصه خروجی ماسفت IRF۷۴۰ ..... ۴۰
شکل ۳-۳- نمونه آزمایشگاهی مدار قدرت اینورتر NPC ۴۱
شکل۳-۴- بسته بندی های مختلف میکروکنترلر ATmega۱۶ ..... ۴۳

فهرست شکلها

عنوان **صفحه**

شکل۳-۵- شماتیک مداری و فرم خروجی H۱۱L۱ ..... ۴۵
شکل۳-۶- تغذیه مدار فرمان و اپتوکوپلرها ۴۶
شکل ۳-۷- مدار فرمان ساخته شده اینورتر NPC ۴۶
شکل ۳-۸- فلوچارت برنامه میکروکنترلر ۴۹
شکل ۴-۱- خط سیر زوایای سوئیچینگ در روش SHEPWM با انتخاب ۴ زاویه ۵۱
شکل ۴-۲- خط سیر زوایای سوئیچینگ در روش SHEPWM با انتخاب ۵ زاویه ۵۲
شکل ۴-۳- خط سیر زوایای سوئیچینگ در روش SHEPWM با انتخاب ۶ زاویه ۵۳
شکل ۴-۴- خط سیر زوایای سوئیچینگ در روش SHEPWM با انتخاب ۷ زاویه ۵۴
شکل ۴-۵- خط سیر زوایای سوئیچینگ در روش SHEPWM با انتخاب ۸ زاویه ۵۵
شکل ۴-۶- خط سیر زوایای سوئیچینگ در روش SHEPWM با انتخاب ۹ زاویه ۵۶
شکل ۴-۷- خط سیر زوایای سوئیچینگ در روش SHEPWM با انتخاب ۱۰ زاویه ۵۷
شکل ۴-۸- خط سیر زوایای سوئیچینگ در روش SHEPWM با انتخاب ۱۱ زاویه ۵۸
شکل ۴-۹- خط سیر زوایای سوئیچینگ در روش SHEPWM با انتخاب ۱۲ زاویه ۵۹
شکل ۴-۱۰- خط سیر زوایای سوئیچینگ در روش SHEPWM با انتخاب ۱۳ زاویه ۶۰
شکل ۴-۱۱- خط سیر زوایای سوئیچینگ در روش SHEPWM با انتخاب ۱۵ زاویه ۶۱
شکل ۴-۱۲- خط سیر زوایای سوئیچینگ در روش SHMPWM با انتخاب ۱۵ زاویه ۶۳
شکل ۴-۱۳- ولتاژ فاز اینورتر سه سطحی(SHEPWM) برای اندیس مدولاسیون ۱ ..... ۶۵
شکل ۴-۱۴- ولتاژ خط اینورتر سه سطحی(SHEPWM) برای اندیس مدولاسیون برابر ۱..... ۶۶
شکل ۴-۱۵- جریان خط اینورتر سه سطحی(SHEPWM) برای اندیس مدولاسیون برابر ۱..... ۶۶
شکل ۴-۱۶- ولتاژ فاز اینورتر سه سطحی (SHMPWM) برای اندیس مدولاسیون برابر ۱/۱۷ ..... ۶۷
شکل ۴-۱۷- ولتاژ خط اینورتر سه سطحی (SHMPWM) برای اندیس مدولاسیون برابر ۱/۱۷ ..... ۶۸
شکل ۴-۱۸- جریان خط اینورتر سه سطحی (SHMPWM) برای اندیس مدولاسیون برابر ۱/۱۷ ..... ۶۸

فهرست نمودارها

عنوان **صفحه**

نمودار ۱-۱- روش های کنترلی و مدولاسیون ۱۳
نمودار ۴-۱- طیف هارمونیکی در روش SHEPWM با انتخاب ۴ زاویه و ma=۱/۱ ..... ۵۱
نمودار ۴-۲- طیف هارمونیکی در روش SHEPWM با انتخاب ۵ زاویه و ma=۱/۱۶ ..... ۵۲
نمودار ۴-۳- طیف هارمونیکی در روش SHEPWM با انتخاب ۶ زاویه و ma=۱/۱۶ ..... ۵۳
نمودار ۴-۴- طیف هارمونیکی در روش SHEPWM با انتخاب ۷ زاویه و ma=۱/۱۶ ..... ۵۴
نمودار ۴-۵- طیف هارمونیکی در روش SHEPWM با انتخاب ۸ زاویه و ma=۱/۱ ..... ۵۵
نمودار ۴-۶- طیف هارمونیکی در روش SHEPWM با انتخاب ۹ زاویه و ma=۱/۱۶ ..... ۵۶
نمودار ۴-۷- طیف هارمونیکی در روش SHEPWM با انتخاب ۱۰ زاویه و ma=۱ ..... ۵۷
نمودار ۴-۸- طیف هارمونیکی در روش SHEPWM با انتخاب ۱۱ زاویه وma=۱/۱۵ ..... ۵۸
نمودار ۴-۹- طیف هارمونیکی در روش SHEPWM با انتخاب ۱۲ زاویه وma=۱/۱۲ ..... ۵۹
نمودار ۴-۱۰- طیف هارمونیکی در روش SHEPWM با انتخاب ۱۳ زاویه وma=۱/۱۵ ..... ۶۰
نمودار ۴-۱۱- طیف هارمونیکی در روش SHEPWM با انتخاب ۱۵ زاویه و ma=۰/۹۹ ..... ۶۱
نمودار ۴-۱۲- طیف هارمونیکی در روش SHMPWM با انتخاب ۱۵ زاویه و ma=۱/۲۱ ..... ۶۳
نمودار ۴-۱۳- مقایسه طیف هارمونیکی دو روش SHE و SHM در اندیس مدولاسیون ۰/۹۵ ..... ۶۴
نمودار ۴-۱۴- طیف هارمونیکی در روش SHEPWM با انتخاب ۷ زاویه و ma=۱ ..... ۶۷
نمودار ۴-۱۵- طیف هارمونیکی در روش SHMPWM با انتخاب ۱۵ زاویه و ma=۱/۱۷ ..... ۶۹

فهرست علائم و اختصارات (Abreviations)

SHE	*Selective Harmonic Elimination*
SHM	*Selective Harmonic Mitigation*
PWM	*Pulse Width Modulation*
SVM	*Space Vector Modulation*
SVC	*Space Vector Control*
THD	*Total Harmonic Distortion*
NPC	*Neutral Point Clamped*
DE	*Differential Evolution*

فصل اول

مقدمه

(اینورترهای چند سطحی، ساختار، روشهای مدولاسیون، کاربردها)

مقدمه

۱–۱– ساختار اینورترهای چند سطحی

امروزه اتصال مستقیم یک سوئیچ نیمه هادی قدرت به شبکه های ولتاژ متوسط به سختی امکان پذیر می باشد. به همین دلیل خانواده جدیدی از اینورترها، به عنوان راه حلی برای کار با سطوح ولتاژ بالاتر، پدیدار گشته اند.[۳]

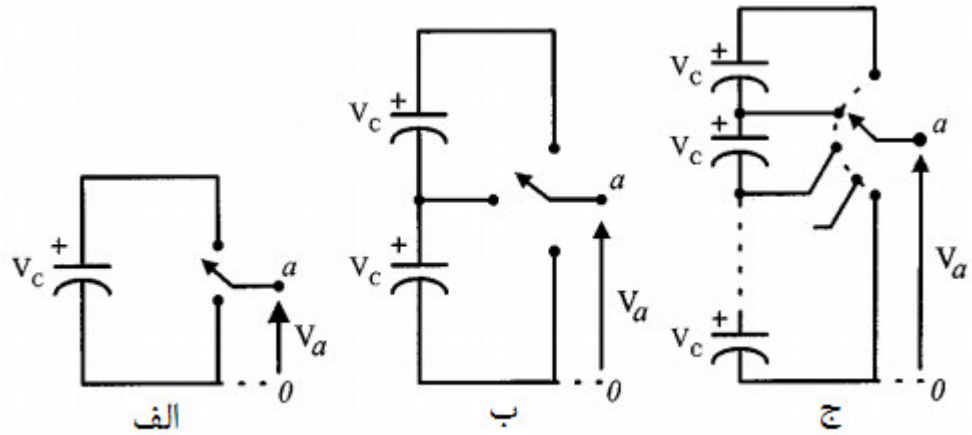
اینورترهای چند سطحی شامل آرایشی از نیمه هادی های قدرت و منابع ولتاژ خازنی میباشند که ولتاژ خروجی آنها به شکل پلکانی است. کموتاسیون سوئیچها باعث جمع شدن ولتاژ خازن ها با یکدیگر و در نتیجه رسیدن به سطوح ولتاژ بالا در خروجی می گردد. در حالی که نیمه هادی های قدرت تنها بایستی سطع ولتاژ پایین را تحمل کنند. شکل۱-۱ شماتیک یک فاز از یک ساق اینورتر با تعداد سطوح مختلف را نمایش می دهد که در آن عملکرد هر نیمه هادی قدرت با یک سوئیچ ایده ال با وضعیت های مختلف نمایش داده شده است.

یک اینورتر دو-سطحی ولتاژ خروجی با دو مقدار مختلف نسبت به سر منفی خازن تولید میکند (شکل۱-۱-الف). در حالی که یک اینورتر سه-سطحی (شکل۱-۱-ب) سه ولتاژ تولید می کند و به همین ترتیب یک اینورتر m -سطحی(شکل۱-۱-ج)، m ولتاژ مختلف را تولید می کند. فرض کنید m تعداد پله های ولتاژ نسبت به ترمینال منفی اینورتر باشد آنگاه تعداد پله های ولتاژ دو سر بار k عبارت است از :

$$k = ۲m + ۱$$

و تعداد پله ها p در ولتاژ فاز بار سه فاز با اتصال ستاره عبارت است از :

$$p = ۲k - ۱$$



شکل ۱-۱) - شماتیک یک فاز از یک ساق اینورتر

با افزایش تعداد سطوح اینورتر، ولتاژ خروجی پله های بیشتری پیدا می کند و شکل موج خروجی به فرم پلکانی خواهد بود که دارای اغتشاش هارمونیکی کمتری می باشد. هر چند که افزایش تعداد سطوح در اینورتر موجب پیچیدگی کنترل آن شده و مشکلات نامتعادلی ولتاژ پیش می آید.

بطورکلی سه پیکربندی مختلف برای اینورترهای چند سطحی ارائه شده است که عبارتند از :

۱- اینورتر چند سطحی دیود-نگهدارنده [۱] [۳,۹,۱۵]

۲- اینورتر چند سطحی خازن-نگهدارنده [۲] [۳,۱۶]

۳- اینورتر چند سلولی آبشاری با منابع dc جداگانه [۳] [۳,۴,۸,۱۰,۱۱,۱۷]

---

۱) Diode-Clamped Multilevel Inverter

۲) Capacitor-Clamped Multilevel Inverter

۳) Cascaded Multilevel Inverter

جالب توجه ترین خصوصیات اینورترهای چند سطحی به شرح زیر می باشد.

۱- آن ها قادر به تولید ولتاژ خروجی با اغتشاش بسیار پایین و d_v/d_t کمتر می باشند.

۲- جریان ورودی با اغتشاش خیلی کم می کشند.

۳- ولتاژ مود مشترک (*common-mode*) کوچکتری تولید می کنند. به علاوه با بکارگیری روش های مدولاسیون پیچیده می توان ولتاژ مود مشترک را حذف نمود.

۴- آنها توانایی عملکرد با فرکانس سوئیچینگ پایین تری دارند.

نتایج تحقیقات گسترده نشان می دهد که اینورتر های چند سطحی از ۳۵ سال پیش مورد توجه قرار گرفته اند که از این میان اینورتر چند سلولی آبشاری اولین طرح ارائه شده در سال ۱۹۷۵می باشد[۳]. بدین شکل که از اتصال سری سلول های تمام-پل با منابع dc جداگانه تشکیل شده است و از ترکیب آنها ولتاژ خروجی ac پلکانی شکل حاصل می شود. پس از آن با دستکاری اینورتر چند سلولی آبشاری، و با بکارگیری دیودهایی برای بلوک بندی منابع ، اینورتر چند سطحی دیود-نگهدارنده بوجود آمد. که برای اولین بار به عنوان اینورتر سه-سطحی مورد استفاده قرار گرفت و سطح ولتاژ میانی به عنوان نقطه نول تعریف شده بود و به همین دلیل به این اینورتر را NPC[۱] می نامند. به دلیل آنکه اینورتر دیود-نگهدارنده سطح ولتاژ تجهیزات را بدون نیاز به تطبیق ولتاژ دقیق، بطور موثری دو برابر می کرد، توپولوژی مداری آن در دهه ۱۹۸۰ بسیار مورد توجه قرار گرفت. اگرچه اینورتر چند سلولی آبشاری زودتر پا به عرصه نهاده بود ولی استفاده از آن تا اواسط دهه ۱۹۹۰ رایج نشد و پس از آن به سبب تقاضای زیاد اینورترهای توان بالای ولتاژ متوسط، اینورتر چند سلولی آبشاری مورد توجه زیادی قرار گرفت. اینورترهای چند سطحی ای که خازن-نگهدارنده نام گرفته بودند در دهه ۱۹۹۰ پا به عرصه نهادند.

امروزه اینورترهای چند سطحی بطور وسیعی در کاربردهای توان بالا با سطوح ولتاژ متوسط بکار برده می شوند. برخی از کاربردهای متداول کانورترهای منبع ولتاژ عبارتند از :

سیستم های انتقال ac انعطاف پذیر[۲] ، فیلتر های اکتیو قدرت، درایو های ماشینها، منابع تغذیه وقفه ناپذیر ، تجهیزات قدرت متداول مانند دستگاههای نورد ، بالابر ها، کمپرسورها و سیستم های

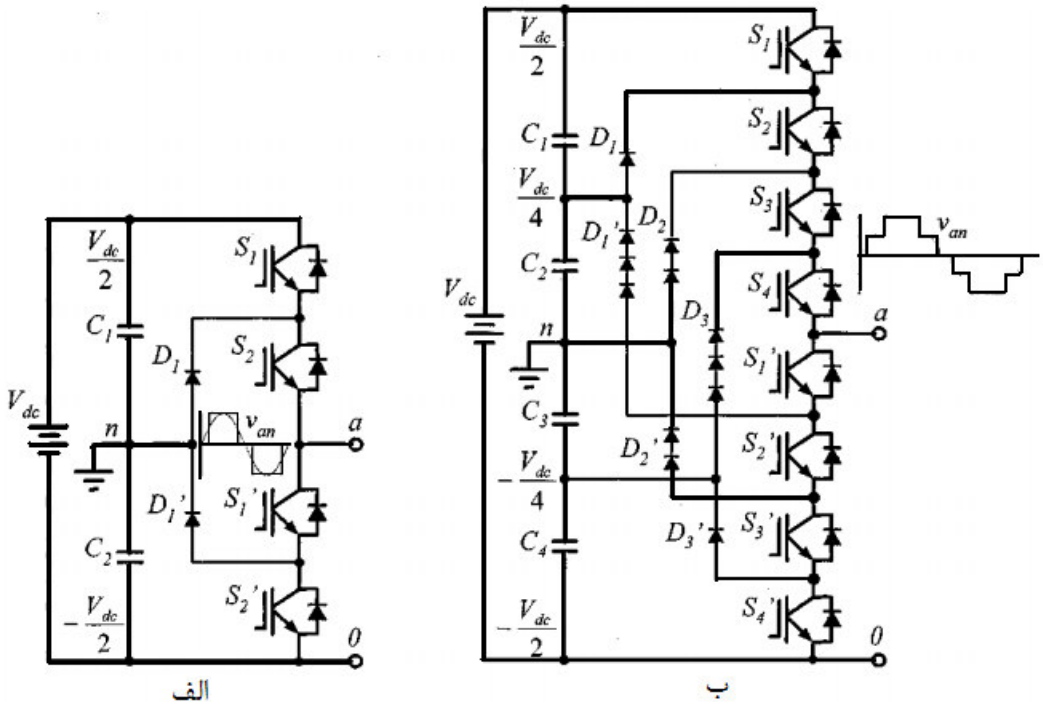
۱) Neutral Point Clamped

۲) Flexible Alternative Current Transmission Systems

انرژی توزیع شده مانند سلولهای سوختی، سلولهای خورشیدی، خروجی توربینهای بادی و میکرو توربینها ، در سیستمهای انتقال و توزیع می باشد[۷,۱۰,۱۱].

۱-۱-۱- اینورتر دیود-نگهدارنده

اینورتر دیود-نگهدارنده سه-سطحی در شکل۱-۲-الف نشان داده شده است. در این مدار، ولتاژ باس dc توسط دو خازن بزرگ سری C_1 و C_2 به سه سطح تقسیم شده است. نقطه ما بین دو خازن (n) می تواند به عنوان نقطه نول تعریف شود. ولتاژ خروجی v_{an} سه وضعیت دارد $V_{dc}/2$، ۰ ، $-V_{dc}/2$. برای سطح ولتاژ $V_{dc}/2$ ، سوئیچهای S_1 و S_2 باید روشن باشند، برای $-V_{dc}/2$ سوئیچهای S_1' و S_2' بایستی روشن شوند و برای سطح ولتاژ صفر S_2 وS_1' باید روشن شوند.



شکل ۱-۲) اینورتر دیود-نگهدارنده(الف:سه سطحی- ب:پنج سطحی)

اجزای کلیدی که این مدار را از اینورتر دو-سطحی متداول، متمایز می سازند، D_1 و D_1' می باشند. این دو دیود، ولتاژ سوئیچ را در نصف سطح ولتاژ باس dc نگه می دارند. وقتی که S_1 و

$S_۲$ هر دو روشن هستند $v_{ao} = V_{dc}$ می باشد. در این حالت،$D_۱'$ ولتاژ تقسیم شده بین$S_۱'$ و $S_۲'$ را با سد کردن ولتاژ $C_۱$ توسط $S_۱'$ و سد کردن ولتاژ $C_۲$ توسط $S_۲'$ ، متعادل می سازد.

ولتاژ خروجی V_{an} ، ac و ولتاژ V_{ao} ، dc می باشد. اختلاف بین V_{an} و V_{ao} ولتاژ دو سر $C_۲$ می باشد که برابر $V_{dc}/۲$ است. هنگامی که خروجی از دو سر a و o گرفته شود ، مدار به یک کانورتر dc به dc تبدیل می شود که سه سطح ولتاژ خروجی دارد : V_{dc} , $V_{dc}/۲$, ۰ .

شکل ب-۲-۱ اینورتر دیود-نگهدارنده پنج-سطحی را نشان می دهد که باس dc شامل چهار خازن $C_۱$، $C_۲$، $C_۳$ و $C_۴$ می باشد. برای ولتاژ باس dc برابر V_{dc} ، ولتاژ دو سر هر خازن برابر $V_{dc}/۴$ است و فشار ولتاژ روی هر تجهیز محدود به سطح ولتاژ یک خازن ($V_{dc}/۴$) از طریق دیودهای نگه دارنده می باشد.

برای توضیح چگونگی به وجود آمدن ولتاژ پلکانی، نقطه نول n به عنوان نقطه مرجع ولتاژ فاز خروجی فرض می شود. پنج ترکیب از سوئیچ ها برای ساخت پنج سطح ولتاژ مختلف بین دو سر a و n وجود دارد.

۱- برای سطح ولتاژ $V_{an} = V_{dc}/۲$ ، تمام سوئیچ های بالایی $S_۱$ تا $S_۴$ بایستی روشن شوند.

۲- برای سطح ولتاژ $V_{an} = V_{dc}/۴$ ، سه سوئیچ بالای $S_۲$ تا $S_۴$ و سوئیچ پایینی $S_۱'$ بایستی روشن شوند.

۳- برای سطح ولتاژ $V_{an} = ۰$ ، دو سوئیچ بالایی $S_۳$ و $S_۴$ و دو سوئیچ پایینی $S_۱'$ و $S_۲'$ بایستی روشن شوند.

۴- برای سطح ولتاژ $V_{an} = -V_{dc}/۴$ ، سوئیچ بالایی $S_۴$ و سه سوئیچ پایینی $S_۱'$ تا $S_۳'$ بایستی روشن شوند.

۵- برای سطح ولتاژ $V_{an} = -V_{dc}/۲$ ، تمام سوئیچ های پایینی $S_۱'$ تا $S_۴'$ بایستی روشن شوند.

چهار جفت سوئیچ مکمل در هر فاز وجود دارد. جفت سوئیچ مکمل بگونه ای تعریف شده اند که روشن شدن یکی، از روشن شدن دیگری جلوگیری خواهد نمود. در شکل۱-۲-ب چهار جفت سوئیچ مکمل عبارتند از : ($S_۱$ و $S_۱'$)،($S_۲$ و $S_۲'$)،($S_۳$ و $S_۳'$) و ($S_۴$ و $S_۴'$)

اگرچه هر سوئیچ فعال تنها لازم است سطح ولتاژی برابر $V_{dc}/(m-۱)$ را تحمل کند، دیودهای نگهدارنده باید درجه بندی ولتاژی مختلفی را داشته باشند. برای مثال در شکل۱-۲-ب ، با روشن بودن سوئیچ های پایینی $S_۲'$ تا $S_۴'$ ، دیود $D_۱'$ بایستی ولتاژ سه خازن را تحمل کند یا به عبارتی بایستی قدرت تحمل ولتاژ $۳V_{dc}/۴$ را داشته باشد. به همین ترتیب $D_۲$ و$D_۲'$ باید ولتاژ $۲V_{dc}/۴$ و $D_۳$ لازم است ولتاژ $۳V_{dc}/۴$ را تحمل کند. با فرض اینکه ولتاژ نامی هر دیود برابر ولتاژ نامی سوئیچها باشد، تعداد دیود های مورد نیاز برای هر فاز برابر $(m-۱)\times(m-۲)$ خواهد بود. این رابطه نشان می دهد که وقتی m به اندازه کافی زیاد باشد ، تعداد دیودهای مورد نیاز، باعث غیر عملی شدن اجرای سیستم فوق می گردند.

۱-۱-۲- اینورتر خازن-نگهدارنده

شکل۱-۳ ساختمان اصلی یک فاز از اینورتر خازن-نگهدارنده را نشان می دهد. این طرح اینورتر *flying-capacitor* نیز نامیده می شود. اینورتر شکل۱-۳-الف ، سه سطح خروجی را در دو سر a و n تولید می کند ($V_{an}= V_{dc}/۲,۰, -V_{dc}/۲$) . برای سطح ولتاژ $V_{dc}/۲$ ، سوئیچ های $S_۱$ و $S_۲$ بایستی روشن باشند. برای $-V_{dc}/۲$ ، سوئیچ های $S_۱$ و$S_۲'$ بایستی روشن شوند و برای سطح ولتاژ ۰ ، زوج سوئیچ های ($S_۱'$ و$S_۱$) ویا ($S_۲'$ و$S_۲$) بایستی روشن باشند. خازن نگهدارنده $C_۱$ وقتی که $S_۱$ و $S_۱'$ روشن باشند شارژ شده و با روشن بودن $S_۲$ و $S_۲'$ ، دشارژ می شود. شارژ $C_۱$ ، می تواند با انتخاب مناسب ترکیب سوئیچ سطح صفر ، متعادل گردد. ولتاژ حاصله از کانورتر خازن-نگهدارنده پنج سطحی قابلیت انعطاف بیشتری نسبت به کانورتر دیود-نگهدارنده دارد.

به عنوان مثال در شکل۱-۳-ب ، پنج سطح ولتاژ خروجی بین دو سر a و n (V_{an}) ، با ترکیب سوئیچ ها به صورت زیر بدست می آید.

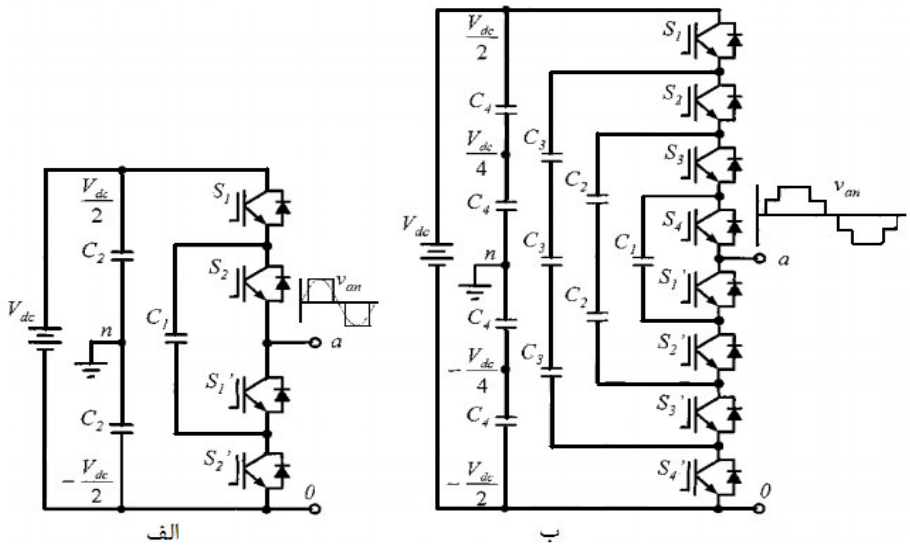
۱- برای سطح ولتاژ $V_{an} = V_{dc}/۲$ ، تمام سوئیچ های بالایی $S_۱$ تا$S_۴$ بایستی روشن باشند.

۲- برای سطح ولتاژ $V_{an} = V_{dc}/۴$ ، سه ترکیب($S_۱ ، S_۲ ، S_۳ ، S_۱'$)،($S_۲ ، S_۳ ، S_۴ ، S_۴'$) و ($S_۱ ، S_۳ ، S_۴ ، S_۳'$) موجود است.

۳- برای سطح ولتاژ $V_{an} = ۰$ ، شش ترکیب ($S_۱ ، S_۲ ، S_۱' ، S_۲'$)،($S_۳ ، S_۴ ، S_۳' ، S_۴'$)، ($S_۱ ، S_۳ ، S_۱' ، S_۳'$)، ($S_۱ ، S_۴ ، S_۲' ، S_۳'$)، ($S_۲ ، S_۴ ، S_۲' ، S_۴'$)و ($S_۲ ، S_۳ ، S_۱' ، S_۴'$) موجود است.

۴- برای سطح ولتاژ $V_{an} = -V_{dc}/۴$ ، سه ترکیب ($S_۱ ، S_۱' ، S_۲' ، S_۳'$) ، ($S_۴ ، S_۲' ، S_۳' ، S_۴'$) و ($S_۳ ، S_۱' ، S_۲' ، S_۴'$) موجود است.

۵- برای سطح ولتاژ $V_{an} = -V_{dc}/۲$ ، تمام سوئیچ های پایینی $S_۱'$ تا $S_۴'$ بایستی روشن باشند.



شکل ۱-۳) اینورتر خازن-نگهدارنده(الف:سه سطحی- ب:پنج سطحی)

با انتخاب ترکیبات مناسب خازن می توان شارژ خازن ها را متعادل نمود. همانند کانورتر دیود-نگهدارنده، کانورتر خازن-نگهدارنده نیز نیاز به خازن های بزرگ برای ذخیره ولتاژ دارد.