**پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد**

# ارائه الگوریتم کلیدزنی جدید برای مبدل‌های چند سطحه

**استاد راهنما: دکتر مرتضی فرسادی**

**تنظیم و نگارش : هادی فرش بر**

**دانشکده فنی**

**گروه برق**

**بهمن‌ماه ۱۳۹۱**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

## تأییدیه هیئت داوران جلسه‌ی دفاع از پایان‌نامه

پایان‌نامه به تاریخ شماره مورد پذیرش هیئت

محترم داوران با رتبه و نمره قرار گرفت.

| ردیف | سمت | نام و نام خانوادگی | دانشگاه یا موسسه | امضا |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | استاد راهنما و رئیس هیئت داوران | دکتر مرتضی فرسادی | دانشگاه ارومیه | |
| ۲ | داور داخلی | دکتر داریوش نظر پور | دانشگاه ارومیه | |
| ۳ | داور خارجی | دکتر نوری نیا | دانشگاه ارومیه | |
| ۴ | نماینده تحصیلات تکمیلی | دکتر رسول شعبانی | دانشگاه ارومیه | |

تقدیم به

پدر بزرگوار و مادر دلسوزم

آن دو فرشته‌ای که از خواسته‌هایشان گذشتند، سختی‌ها را به جان خریدند و خود را سپر بلای مشکلات و ناملایمات کردند تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده‌ام برسم.

و برادر مهربانم که در طول زندگی همواره مایه دلگرمیم بود.

# سپاس و قدردانی

با سپاس ازسه وجود مقدس:

آنان که ناتوان شدند تا ما به توانایی برسیم...

موهایشان سپید شد تا ماروسفید شویم...

و عاشقانه سوختند تا گرمابخش وجود ما و روشنگر راهمان باشند...

پدرانمان

مادرانمان

استادانمان

خدای را بسی شکر که در سایه پدر و مادری مهربان و دلسوز و در خانواده‌ای پر مهر و محبت پرورش یافته و در سایه معلمان و اساتید گران‌قدری مراتب علمی را پیمودم .

در اینجا لازم می‌دانم از زحمات جناب آقای دکتر فرسادی که همواره راهنما و الگوی اینجانب بودند، تشکر نمایم . همچنین از جناب آقای دکتر نظر پور که در دوره کارشناسی ارشد نهایت لطف را در حق اینجانب داشتند قدردانی می‌نمایم .

نیز جا دارد از زحمات آقای دکتر کسرایی تشکر و قدردانی نمایم، چراکه با وجود لطف ایشان، تحصیل در دوره ارشد برایم مقدور گردید.

زمستان ۱۳۹۱

## چکیده:

با وجود دو نوع انتقال جریان به روش مستقیم و متناوب، و لزوم تبدیل این دو حالت جریان الکتریکی ، ضرورت‌هایی در جهت تحقیق در زمینه مبدل‌هایی که جریان الکتریکی را از حالت مستقیم به متناوب و یا برعکس تبدیل می‌کنند به وجود می‌آید . یکی از متداول‌ترین این مبدل‌ها ، که در این پایان‌نامه مورد بررسی قرار گرفته است ، مبدل DC-AC می‌باشد. در ابتدا به معرفی و بررسی مبدل‌های DC-AC معمولی دو سطحه و سه سطحه پرداخته شده است . در ادامه چند نمونه از ساختارهای مبدل‌های چند سطحه[1] مورد بررسی قرار گرفته است. مبدل‌های چند سطحی به دلیل عملکرد ممتاز خود نسبت به مبدل‌های دو سطحی به صورت فزاینده‌ای در کاربردهای توان بالا و ولتاژ بالا در سیستم‌های قدرت و درایور موتورها و... مورد استفاده قرار می‌گیرد. در فصل اول این پایان‌نامه به صورت مفصّل در مورد آن‌ها بحث شده است .در فصل دوم نیز مقایسه‌ای از این ساختارها ارائه گردیده و به مزایا و معایب هر کدام از آن‌ها اشاره شده است. نیز در این فصل به چند نمونه از کاربرد مبدل‌های چند سطحه اشاره‌هایی گردیده است. در بخش بعد به انواع روش‌های کنترلی و مدولاسیون در مبدل‌های چند سطحه پرداخته‌شده و همچنین روش کنترلی جدیدی نیز ارائه گردیده است. در انتها نتایجی از شبیه‌سازی‌ها در نرم‌افزار MATLAB ارائه شده است. در این شبیه‌سازی‌ها مقایسه‌ای در مورد کاهش هارمونیک در روش کنترلی جدید با روش‌های کنترلی متداول ارائه شده است.



**واژه‌های کلیدی**: مبدل DC-AC، مبدل‌های منبع ولتاژ، مبدل‌های چند سطحه، انواع مدولاسیون مبدل-های چند سطحه، مدولاسیون انتقال سطح


~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~

[1]- Multilevel Inverter
~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~

# فهرست

**فصل اول : مبدل‌های منبع ولتاژ چند سطحه** ..... ۱

۱-۱مقدمه..... ۲

۱-۲ مبدل دو سطحه..... ۲

۱-۳ مفهوم مبدل چند سطحه..... ۴

۱-۴ مبدل‌های چند سطحه ..... ۵

۱-۴-۱ مبدل منبع ولتاژ چند سطحه دیود کلمپ با نقطه خنثی..... ۶

۱-۴-۲ مبدل منبع ولتاژ چند سطحه خازن شناور ..... ۱۱

۱-۴-۳ مبدل منبع ولتاژ چند سطحه آبشاری پل H سری..... ۱۴

۱-۴-۴ مبدل منبع ولتاژ چند سطحه تعمیم‌یافته P 2 ..... ۱۹

۱-۴-۵ مبدل منبع ولتاژ چند سطحه معکوس کننده ولتاژ..... ۲۳

۱-۴-۶ مبدل‌های منبع ولتاژ چند سطحه ترکیبی ..... ۲۵

۱-۵ مبدل چند سطحه با کلیدزنی نرم..... ۲۷

۱-۶ اتصال پشت به پشت مبدل‌های چند سطحه..... ۲۸

**فصل دوم : مقایسه و کاربرد مبدل‌های چند سطحه**.....۳۰

۲-۱ مقایسه کیفی المان‌های تشکیل‌دهنده ساختارها.....۳۱

۲-۲ مقایسه کمی المان‌های تشکیل‌دهنده ساختارها.....۳۱

۲-۲-۱ مقایسه مجزّای ساختارها.....۳۲

۲-۲-۲ مقایسه پایین‌ترین درجه مشترک..... ۳۳

۲-۳ نقاط قوت و ضعف مبدل‌ها.....۳۴

۲-۴کاربرد مبدل‌های چند سطحه.....۳۶

۲-۴-۱خودروهای هیبریدی برقی .....۳۶

۲-۴-۲ شبکه‌های قدرت..... ۳۸

۲-۴-۳ انرژی‌های تجدید پذیر.....۳۹

**فصل سوم : مدولاسیون مبدل‌های چند سطحه**.....۴۳

۳-۱ مقدمه.....۴۴

۳-۲ دسته‌بندی انواع مدولاسیون مبدل‌های چند سطحه..... ۴۴

۳-۳ مدولاسیون با فرکانس کلیدزنی پایه.....۴۶

۳-۳-۱ کنترل بردار فضایی.....۴۶

۳-۳-۲ حذف دلخواه هارمونیک‌ها.....۴۹

۳-۴ مدولاسیون با فرکانس کلیدزنی ترکیبی.....۴۹

۳-۴-۱ مدولاسیون چند سطحه مختلط.....۴۹

۳-۵ مدولاسیون با فرکانس کلیدزنی بالا.....۵۰

۳-۵-۱ مدولاسیون بردار فضایی PWM .....۵۰

۳-۵-۲ روش مدولاسیون شیفت فاز PWM.....۵۲

۳-۵-۳مدولاسیون انتقال سطح PWM .....۵۳

۳-۶ مدولاسیون مبتنی بر تنظیم جریان..... ۵۸

۳-۶-۱ روش کنترل هیسترزیس.....۵۹

۳-۶-۲ مدولاسیون دلتای چند سطحه.....۵۹

۳-۶-۳ مدولاسیون سیگما- دلتا با سنجش زمان.....۶۰

**فصل چهارم : شبیه‌سازی و مقایسه**.....۶۱

۴-۱ مقدمه.....۶۲

۴-۲ معرفی مدل و شبیه‌سازی.....۶۲

**نتیجه‌گیری نهایی و پیشنهاد**.....۷۳

**مراجع**.....۷۵

# فهرست اشکال


شکل ۱-۱- الف ) خروجی مبدل دو سطحه ب ) مبدل دو سطحه ..... ۳
شکل ۱-۲- مبدل ولتاژ الف ) مبدل دو سطحه ب) مبدل سه سطحه ج) مبدل n سطحه ..... ۵
شکل ۱-۳- خروجی یک مبدل ۹ سطحه ..... ۵
شکل ۱-۴- مبدل پنج سطحه دیود کلمپ ..... ۶
شکل ۱-۵- شکل موج خروجی مبدل دیود کلمپ در صورت عدم اتصال نقطه میانی به زمین ..... ۷
شکل ۱-۶- مسیرهای جریان برای سطوح مختلف ..... ۹
شکل ۱-۷- شارژ و دشارژ خازن‌های $C_1$ و $C_2$ الف) تبادل توان اکتیو ب) تبادل توان راکتیو ..... ۱۰
شکل ۱-۸- مبدل تک فاز پنج سطحه خازن شناور ..... ۱۱
شکل ۱-۹- مسیر جریان برای تولید سطح ولتاژ ۰ در مبدل پنج سطحه خازن شناور ..... ۱۳
شکل ۱-۱۰- ساختار مبدل تک فاز پنج سطحه پل H سری و خروجی آن ..... ۱۵
شکل ۱-۱۱- ساختار مبدل تک فاز ۲۷سطحه پل H سری ..... ۱۸
شکل ۱-۱۲- ساختار مبدل منبع ولتاژ تک فاز تعمیم‌یافته ..... ۲۰
شکل ۱-۱۳- تعادل ولتاژ در سطح ولتاژ صفر در ساختار مبدل چند سطحه تعمیم‌یافته ..... ۲۲
شکل ۱-۱۴- ساختار مبدل چند سطحه معکوس کننده ولتاژ ..... ۲۳
شکل ۱-۱۵- ساختار مبدل چند سطحه ترکیبی دیود کلمپ با پل H ..... ۲۵
شکل ۱-۱۶- ساختار مبدل چند سطحه ترکیبی پل H با دیود کلمپ ..... ۲۶
شکل ۱-۱۷-ساختار مبدل ولتاژ ترکیبی نامتقارن ..... ۲۷
شکل ۱-۱۸- مدار کلیدزنی نرم در ولتاژ صفر با استفاده از ساختار مبدل خازن شناور ..... ۲۷
شکل ۱-۱۹- ساختار پشت به پشت ..... ۲۸
شکل ۲-۱- نمودار المانی مبدل‌های چند سطحه به ازای سطوح متفاوت ..... ۳۳
شکل ۲-۲- نمودار المانی مبدل‌های چند سطحه به ازای سطوح متفاوت با در نظر گرفتن پایین‌ترین درجه مشترک ..... ۳۴
شکل ۲-۳- انتقال قدرت در خودروهای برقی ..... ۳۷
شکل ۲-۴- نمونه‌ای از انتقال توان در شبکه قدرت ..... ۳۸
شکل ۲-۵- مزارع بادی و مبدل چند سطحه ..... ۴۰
شکل ۲-۶- نیروگاه خورشیدی با استفاده از مبدل چند سطحه ..... ۴۲

شکل ۳-۱- فلوچارت روش‌های مختلف مدولاسیون در مبدل‌های چند سطحه بر اساس فرکانس کلیدزنی ..... ۴۵

شکل ۳-۲- کنترل بردار فضایی..... ۴۷
شکل ۳-۳- محل زوایای آتش در یک شکل ولتاژ هفت سطحه ..... ۴۸
شکل ۳-۴- (الف)- شکل موج ولتاژ خروجی با انتخاب ضریب مدولاسیون بالا (ب)- شکل موج ولتاژ خروجی با انتخاب ضریب مدولاسیون متوسط (ج)- شکل موج ولتاژ خروجی با انتخاب ضریب مدولاسیون پایین ..... ۴۹
شکل ۳-۵- الف)- یک مدار با دو نوع کلید متفاوت (ب)- شکل موج ولتاژ و موج مرجع با استفاده از فرکانس کلیدزنی بالا (ج)- شکل موج ولتاژ خروجی و موج مرجع با استفاده از فرکانس کلیدزنی پایین (د)- شکل موج ولتاژ و موج مرجع نهایی ..... ۵۰
شکل ۳-۶- مدولاسیون بردار فضایی بر پایه انتخاب بردارها ..... ۵۱
شکل ۳-۷- مدولاسیون شیفت فاز PWM برای یک مبدل سه سطحه ..... ۵۲
شکل ۳-۸- فلوچارت روش‌های مختلف مدولاسیون در حالت انتقال سطح PWM ..... ۵۳
شکل ۳-۹-مدولاسیون به روش انتقال سطح با فرکانس کلیدزنی متغیر ..... ۵۴
شکل ۳-۱۰- مدولاسیون به روش انتقال سطح با فرکانس کلیدزنی ثابت..... ۵۴
شکل ۳-۱۱- مدولاسیون مبدل‌های چند سطحه به روش فرکانس کلیدزنی بهینه..... ۵۵
شکل ۳-۱۲- مدولاسیون مبدل‌های چند سطحه به روش انتقال سطح مختلف‌الفاز.....۵۶
شکل ۳-۱۳- مدولاسیون مبدل‌های چند سطحه به روش انتقال سطح مختلف‌الفاز متناوب .....۵۶
شکل ۳-۱۴- نحوه تولید پالس‌ها به روش مدولاسیون انتقال سطح فرکانس ثابت زیر هارمونیک هم فاز..... ۵۷
شکل ۳-۱۵- مدولاسیون انتقال سطح با استفاده از حامل‌های سینوسی ..... ۵۸
شکل ۳-۱۶- نمایش کنترل جریان هیسترزیس برای مبدل چهار سطحه ..... ۵۹
شکل ۳-۱۷- طرح کنترل دلتای چهارگانه .....۶۰
شکل ۳-۱۸- تابع سیگما- دلتا چهار سطحه.....۶۰
شکل ۴-۱- مدولاسیون مثلثی- سینوسی برای مبدل چند سطحه .....۶۳
شکل ۴-۲- مدولاسیون سینوسی- سینوسی برای مبدل چند سطحه.....۶۳
شکل ۴-۳-مدولاسیون مربعی-سینوسی برای مبدل‌های چند سطحه.....۶۳
شکل ۴-۴- مبدل چند سطحه آبشاری پل H مورد مطالعه .....۶۴
شکل ۴-۵- پل‌های H مبدل چند سطحه آبشاری.....۶۵
شکل ۴-۶-ترتیب قرارگیری روش‌های مختلف در مبدل چند سطحه سه فاز .....۶۵
شکل ۴-۷- کنترل‌کننده سینوسی – سینوسی در مبدل چند سطحی.....۶۵
شکل ۴-۸- کنترل‌کننده مربعی – سینوسی در مبدل چند سطحی.....۶۵
شکل ۴-۹- کنترل‌کننده مثلثی – سینوسی در مبدل چند سطحی.....۶۶
شکل۴-۱۰- پالس‌های تولیدی مدولاسیون مربعی – سینوسی.....۶۷

شـــکل۴-۱۱- شـــکل موج خروجی مبدل چند ســـطحه آبشـــاری با اســـتفاده از مدولاســـیون مربعی-سینوسی.....۶۷

شکل ۴-۱۲- تحلیل FFT برای مبدل چند سطحه با استفاده از مدولاسیون موج مربعی الف) CSF PD SH SWPWM ب) CSF APOD SWPWM ج) CSF POD SH SWPWM د) CSF PD SFO SWPWM ه) CSF APOD SFO SWPWM و) CSF POD SFO SWPWM ز) VSF SFO SWPWM ک)VSF SH SWPWM.....۶۹

# فهرست جداول

جدول ۱-۱- حالت‌های مختلف کلیدزنی در مبدل دیود کلمپ پنج سطحه با نقطه خنثی میانی ..... ۸
جدول ۱-۲- نمونه‌هایی از حالت‌های مختلف کلیدزنی در مبدل خازن شناور پنج سطحه..... ۱۲
جدول ۱-۳- حالات مختلف کلیدزنی برای مبدل آبشاری ..... ۱۷
جدول۱-۴- سطوح مثبت مبدل ۲۷ سطحه ..... ۱۹
جدول ۱-۵- نمونه‌ای از حالت‌های مختلف کلیدزنی در مبدل پنج سطحه معکوس کننده ولتاژ..... ۲۴
جدول ۲-۱- ولتاژ و جریان روی المان‌های ساختارهای مختلف..... ۳۱
جدول ۲-۲- تعداد المان‌های به‌کاررفته در ساختمان مبدل‌های چند سطحه سه فاز ..... ۳۲
جدول ۱۴-۱- نتایج حاصـــل از FFT در نرم‌افزار متلب..... ۷۱
جدول ۱۴-۲- هارمونیک حالت‌های مختلف مدولاسیون برای مبدل چند سطحه.....۷۱

# فصل اول:

# مبدل‌های منبع ولتاژ چند سطحه

# ۱ فصل اول : مبدل‌های منبع ولتاژ چند سطحه

## ۱-۱ مقدمه

مبدل‌های جریان مستقیم به جریان متناوب با نام مبدل شناخته می‌شوند . در مبدل‌های منبع ولتاژ ورودی سیستم یک ولتاژ جریان مستقیم و خروجی سیستم یک ولتاژ متناوب که دارای فرکانس و سطح ولتاژی است که در سیستم تعریف شده است . اولین مفهوم استفاده از سطوح ولتاژ مختلف برای انجام تبدیلات قدرت نزدیک به سی سال پیش توسط محققان MIT ارائه گردید[۱],[۲] . شکل موج‌های خروجی در مبدل‌های ایده آل سینوسی می‌باشد ولی در مبدل‌های ساخته‌شده به دلیل وجود عوامل مختلف دارای هارمونیک‌ها و اعوجاج‌هایی در شکل موج خروجی هستند. در کاربردهای توان متوسط و پایین می‌توان از وجود این هارمونی‌ها و اعوجاج‌ها صرف‌نظر نمود ولی زمانی که بحث تبدیل توان در رنج‌های بالا مطرح می‌گردد بایستی شکلی صاف‌تر و سینوسی داشته باشیم . برای داشتن شکل موج‌های سینوسی صاف و با هارمونی پایین‌تر ساختارهای مختلفی با روش‌های کنترلی مختلفی ارائه گردیده است . در مبدل‌های منبع ولتاژ برای داشتن شکل موج سینوسی علاوه بر ساختار و نحوه‌ی کلیدزنی، المان‌های مورد استفاده قرارگرفته نیز از اهمیت بسزایی برخوردار است.

امروز با پیشرفت صنایع در زمینه‌های مختلف و نیاز به تبدیل انرژی بحث مبدل‌ها مورد اهمیت به سزایی قرار گرفته است . ورودی یک مبدل می‌تواند یک باتری ، سلول خورشیدی ، سلول زغالی و یا هر منبع مستقیمی باشد. از مبدل‌ها در تبدیلات فرکانسی ببین دو شبکه با فرکانس مختلف نیز می‌توان استفاده نمود .خروجی مبدل‌های تک فاز عموماً در رنج‌های ۱-۱۲۰ ولت با فرکانس ۶۰ هرتز ۲- ۲۲۰ ولت با فرکانس ۵۰ هرتز ۳-۱۱۵ ولت با فرکانس ۴۰۰ هرتز می‌باشد . در سیستم‌های سه فاز با توان بالا خروجی‌ها معمولاً عبارتند از :۱-۲۲۰/۳۸۰ ولت با فرکانس ۵۰ هرتز ، ۲-۱۲۰/۲۰۸ ولت با فرکانس ۶۰ هرتز ،۳- ۱۱۵/۲۰۰ ولت با فرکانس ۴۰۰.

مبدل‌ها را می‌توان به دسته‌ی کلی تک فاز و سه فاز تقسیم‌بندی نمود. هر دسته می‌تواند با توجه به نوع کاربرد از کلیدهای کنترل شده مانند BJT، MOSFET، MCT، SIT، GTOو یا تریستورهایی با کوموتاسیون‌های اجباری استفاده کنند . این مبدل‌ها معمولاً از سیگنال‌های کنترلی PWM و یا باند هیسترزیس برای تولید ولتاژ خروجی متناوب استفاده می‌شود .

## ۱-۲ مبدل دو سطحه

شمای کلی یک مبدل دو سطحه در شکل ۱-۱ (ب) نشان داده شده است . همان طور که در شکل نشان داده شده است این مبدل از دو کلید و دو عدد خازن با ظرفیت‌های یکسان تشکیل‌شده که با توجه به

نحوه کلیدزنی آن‌ها دارای دو سطح ولتاژ $+\frac{V_{DC}}{2}$ و $-\frac{V_{DC}}{2}$ می‌باشد . زمانی که کلید $S_1$ روشن شود سطح ولتاژ خروجی $+\frac{V_{DC}}{2}$ و زمانی که کلید S2 روشن شود ولتاژ خروجی دارای سطح ولتاژ $-\frac{V_{DC}}{2}$ خواهد بود . شکل موج خروجی این مبدل به صورت شکل ۱-۱ الف خواهد بود . مقدار ولتاژ موثر این مبدل از رابطه‌ی زیر حاصل می‌شود:

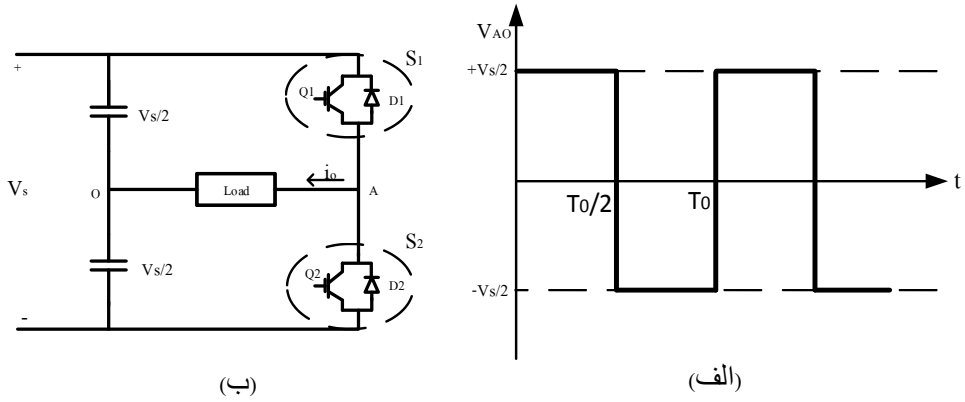
$$\sqrt{\frac{2}{T_0}\int_0^{\frac{T_0}{2}}\frac{V_s^2}{4}dt}=\frac{V_s}{2} \qquad (۱-۱)$$

ولتاژ لحظه‌ای خروجی توسط سری فوریه به صورت زیر بیان می‌شود :

$$V_o=\sum_{n=1,2,3,..}^{\infty}\frac{2V_s}{n\pi}Sin\,n\omega t \qquad (۱-۲)$$

که در آن $\omega = 2\pi f_o$ فرکانس ولتاژ خروجی بوده و بر حسب rad/s می‌باشد. به ازای n=1 رابطه (۱-۲ )مقدار موثر مؤلفه‌ی اصلی را به صورت زیر به دست می‌دهد :

$$V_1=\frac{2\,V_s}{\sqrt{2}\,\pi}=0/45\,V_s \qquad (۱-۳)$$




شکل ۱-۱- الف ) خروجی مبدل دو سطحه ب ) مبدل دو سطحه

در یک بار سلفی جریان بار نمی‌تواند با تغییر ولتاژ خروجی به صورت ناگهانی تغییر جهت پیدا کند . اگر $Q_1$ در زمان $t=\frac{T_o}{2}$ خاموش شود ، جریان بار تا زمانی که مقدار آن به صفر برسد،از طریق $D_2$، بار و نیمه‌ی پایینی منبع ادامه خواهد داشت . به همین منوال زمانی که $Q_2$ در زمان $t=T_o$ خاموش می‌شود ، جریان بار از طریق $D_1$ ، بار و نیمه بالایی منبع مستقیم هدایت می‌گردد. هنگامی که $D_1$ و$D_2$ هدایت می‌کنند انرژی دوباره به منبع بازگردانده می‌گردد . به این دو دیود ، دیودهای فیدبک گفته می‌شود .

برای یک بار RL جریان لحظه‌ای $I_o$ را می‌توان از رابطه‌ی زیر به دست آورد:

$$I_o = \sum_{n=1,3,5,..}^{\infty} \frac{2V_s}{n\pi\sqrt{R^2+(n\omega l)^2}} Sin(n\omega t - \theta_n) \quad (۴-۱)$$

که در آن $\theta_n = \tan^{-1}\left(\frac{n\omega l}{R}\right)$ است . اگر $I_{o1}$ مقدار موثر جریان اساسی بار باشد ، توان اساسی خروجی به ازای (n=1) به صورت زیر خواهد بود:

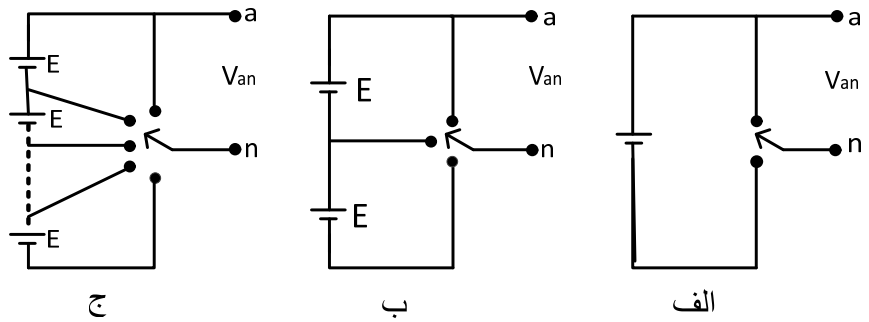
$$P_{o1} = V_1 I_{o1} cos\theta_1 = {I_{o1}}^2 R = \left[\frac{2V_s}{\sqrt{2}\pi\sqrt{R^2+(\omega l)^2}}\right]^2 R \quad (۵-۱)$$

با توجه به بالا بودن هارمونیک در مبدل‌های دو سطحه و عدم کارایی مناسب در صنعت ؛ در سال ۱۹۷۵ مبدل‌های چند سطحه توسط R. H. Baker و L. H. Bannister معرفی گردید[۱]. اولین مبدل چند سطحه ، مبدل‌های چند سطحه پل H سری[1] بود . ساختار بعدی مبدل‌های دیود کلمپ[2] بودند که دارای خازن‌هایی برای تقسیم‌بندی منبع ولتاژ ورودی به مقادیر یکسان بود . ساختارهای بعدی معرفی‌شده ساختارهای خازن شناور[3] ، ساختار تعمیم‌یافته[4] ، ساختار معکوس کننده ولتاژ[5] و ساختارهای ترکیبی[6] می‌باشد . هدف از ارائه این ساختار دست یافتن به هارمونیک پایین‌تر و دستیابی به دامنه ولتاژ بالا می‌باشد . در ادامه این فصل به بررسی کلی در مورد ساختارهای ذکرشده خواهیم پرداخت .

## ۱–۳ مفهوم مبدل چند سطحه

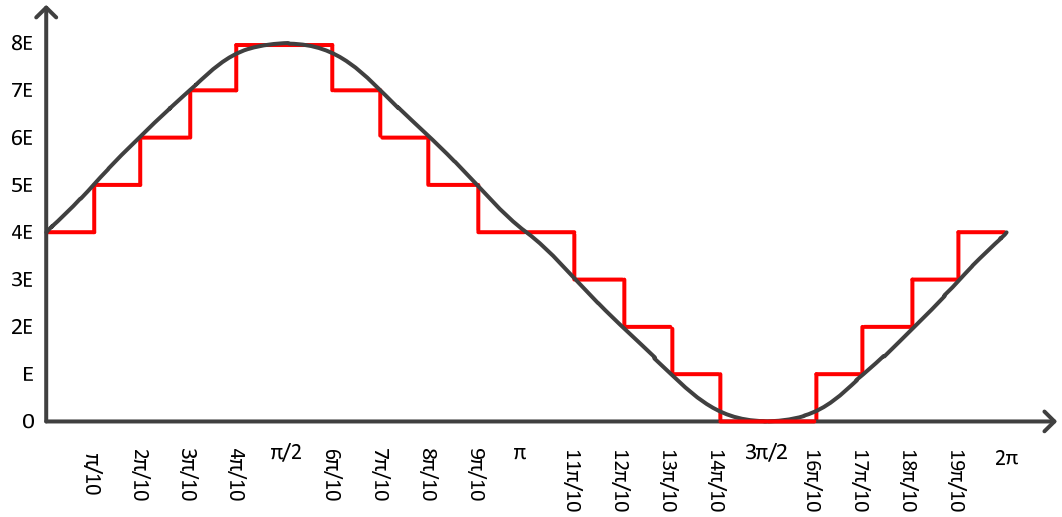
مبدل‌های چند سطحه ولتاژ ، مبدل‌هایی هستند که با استفاده از سطوح مختلف ، ولتاژ را از حالت مستقیم به متناوب تبدیل می‌کند[۳] . شکل ۱-۲ را در نظر بگیرید .همان طور که در شکل ۱-۲-الف ملاحظه می‌شود ولتاژ $V_{an}$ با در نظر گرفتن ایده آل بودن کلید فقط می‌تواند مقادیر ۰ و E را اختیار کند (مبدل دو سطحه) . در شکل ۱-۲- ب نیز ولتاژ $V_{an}$ با در نظر گرفتن ایده آل بودن کلیدها می‌تواند مقادیر ۰ ، E و $E_۲$ را داشته باشد (مبدل سه سطحه) . با تعمیم دادن این مدار می‌توان تعداد سطوح بیشتری داشت (شکل ۱-۲- ج) .

[1] - Cascaded H-bridge
[2] - Diode-clamped
[3] - Flying-capacitor
[4] - Generalized
[5] - Reversing Voltage
[6] - Hybrid




شکل ۱-۲- مبدل ولتاژ الف ) مبدل دو سطحه ب) مبدل سه سطحه ج) مبدل n سطحه

شکل ولتاژ خروجی برای یک مبدل نه سطحه با این ساختار و با کلیدزنی مناسب به صورت زیر خواهد بود.




شکل ۱-۳- خروجی یک مبدل ۹ سطحه

همان طور که ملاحظه می‌گردد ولتاژ شکل موج خروجی یک مبدل ۹ سطحه در مقایسه با ساختار مبدل دو سطحه ، سینوسی تر است و دارای هارمونیک کمتری می‌باشد. برای دست‌یابی به این شکل موج‌ها ساختارهای مختلفی ارائه شده است که در ادامه به معرفی چند نمونه از آن‌ها می‌پردازیم .

## ۱-۴ مبدل‌های چند سطحه

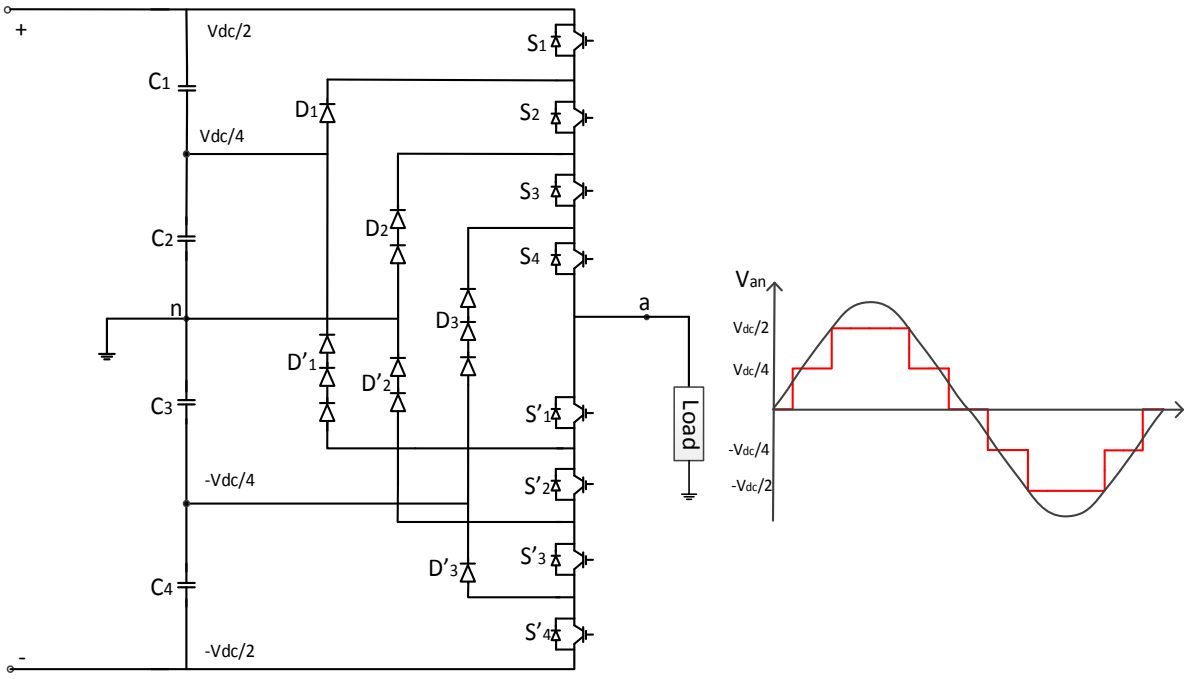
ساختارهای مختلفی برای مبدل‌های چند سطحه به منظور دستیابی به هارمونیک کمتر ، تلفات کلیدزنی کمتر ، دامنه ولتاژ بالاتر و همچنین استفاده از المان‌های کمتر ارائه گردیده است[۱۱-۴] . در این پایان‌نامه در مورد مبدل‌های زیر به صورت کلی بحث‌هایی ارائه خواهد گردید :

- مبدل منبع ولتاژ چند سطحه دیود کلمپ با نقطه خنثی

- مبدل منبع ولتاژ چند سطحه خازن شناور
- مبدل منبع ولتاژ چند سطحه آبشاری پل H
- مبدل منبع ولتاژ چند سطحه تعمیم‌یافته
- مبدل منبع ولتاژ چند سطحه معکوس کننده ولتاژ
- مبدل منبع ولتاژ چند سطحه ترکیبی

### ۱-۴-۱ مبدل منبع ولتاژ چند سطحه دیود کلمپ با نقطه خنثی[1]

شکل ۱-۴ شمای کلی یک مبدل دیود کلمپ تک فاز با نقطه خنثی میانی می‌باشد .




شکل ۱-۴- مبدل پنج سطحه دیود کلمپ

همان طور که از شکل برمی‌آید المان‌های مورد استفاده قرارگرفته در این مبدل عبارتند از بانک خازن مقسّم ولتاژ ، دیودهای نگه‌دارنده ، دیودهای بلوکه کننده و کلید تشکیل یافته است .

در این مدار خازن‌ها نقش تقسیم کردن ولتاژ dc ورودی را به سطوح مورد نظر را دارند . در حالت متقارن ظرفیت این خازن‌ها باهم برابر است. تعداد سطوح در این مبدل معمولاً عددی فرد است، بنا برین تعداد خازن‌های مورد نیاز برای یک مبدل دیود کلمپ n سطحه که از رابطه n-1 حاصل می‌گردد عددی زوج خواهد بود. به عنوان مثال در یک مبدل دیود کلمپ پنج سطحه ، چهار خازن مورد نیاز است . در این

[1] - Multilevel Diode Clamped/Neutral Point Inverter, NPCMLI