



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی برق

گرایش قدرت

عنوان:

طراحی و ساخت اینورتر ۲۲۰ ولت ۵۰ هرتز ۵۰۰ والت

دانشجو:

امیر علی زاده

استاد راهنما:

دکتر سید هادی حسینی

زمستان ۱۳۹۶

## تشکر و قدردانی

با سپاس فراوان از استاد ارجمند جناب آقای دکتر سید هادی حسینی که بی‌شک اگر زحمات

دلسوزانه ایشان نبود، پروژه‌ای که هم‌اکنون در دست شما است به سر منزل مقصود نمی‌رسید و امید بر این است که فعالیت علمی صورت گرفته، راه‌گشا برای دوستان و عزیزانی باشد که در آینده قصد دارند از مفاهیم آن برای انجام فعالیت‌ها و پروژه‌های به روز شده‌تر علمی و دانشجویی خود استفاده نمایند.

و هم‌چنین لطف بی‌دریغ مدیریت محترم صنایع الکترونیک کرج را ارج می‌نهمیم که الطاف ایشان در طول دوره کارآموزی و انجام این پروژه و هم‌چنین هماهنگی صورت پذیرفته توسط ایشان، فعالیت‌های اینجانب را به نتیجه مطلوب نائل گردانید.

و با تشکر فراوان از تیم مهندسی صنایع الکترونیک کرج که در تمام مراحل تست و انجام این پروژه مرا یاری نمودند.

و در آخر از کلیه عزیزانی که بذل توجه فرموده و من را در انجام این پروژه یاری رساندند تشکر و

قدردانی به عمل می‌آید.

بهمن ۱۳۹۶

امیر علی زاده

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تهران

پست الکترونیک: amirali@sharif.edu

شماره تماس: ۰۲۱-۶۶۰۹۶۰۰۰

شماره فکس: ۰۲۱-۶۶۰۹۶۰۰۰۱

آدرس: تهران، خیابان ولیعصر، پلاک ۱۶۵

وبسایت: www.sharif.edu

شماره پستی: ۱۳۹۶-۴۱۵۹-۴۱۵۹

شماره ثبت شرکت: ۱۳۹۶-۴۱۵۹-۴۱۵۹

شماره ثبت تجاری: ۱۳۹۶-۴۱۵۹-۴۱۵۹

شماره ثبت مالی: ۱۳۹۶-۴۱۵۹-۴۱۵۹

شماره ثبت حقوقی: ۱۳۹۶-۴۱۵۹-۴۱۵۹

شماره ثبت اجتماعی: ۱۳۹۶-۴۱۵۹-۴۱۵۹

شماره ثبت فرهنگی: ۱۳۹۶-۴۱۵۹-۴۱۵۹

شماره ثبت ورزشی: ۱۳۹۶-۴۱۵۹-۴۱۵۹





## فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ مدار اینورتر پل تک فاز ..... ۳
- شکل ۱-۲ خروجی مربعی ..... ۴
- شکل ۱-۳ شکل موج ولتاژ خروجی با مدولاسیون پالس سینوسی ..... ۵
- شکل ۱-۴ اینورتر سه فاز ..... ۶
- شکل ۱-۵ جدول اعمال پالس گیت با هدایت ۱۲۰ درجه ..... ۷
- شکل ۱-۶ شکل موج ها بر روی اینورتر با هدایت ۱۸۰ درجه ..... ۹
- شکل ۱-۷ مدار معادل یک اینورتر سه فاز با هدایت ۱۸۰ درجه ..... ۱۱
- شکل ۱-۸ اینورتر تک فاز با منبع جریان ثابت ..... ۱۴
- شکل ۲-۱ مبدل تمام پل ..... ۲۰
- شکل ۲-۲ درایوهای ماسفت ..... ۲۴
- شکل ۲-۳ نحوی اتصال آی سی ..... ۲۵
- شکل ۲-۴ محاسبات خازن بوت استرپ ..... ۲۸
- شکل ۲-۵ مبدل dc/dc ایزوله ..... ۲۹
- شکل ۲-۶ خلاصه‌ای از آردوینو ..... ۳۰
- شکل ۲-۷ خروجی پایه‌های آردوینو ..... ۳۲
- شکل ۳-۱ فوت پرینت و شماتیک مبدل dc به dc ..... ۳۷





همان طور که می دانیم وظیفه اینورتر<sup>۱</sup> تبدیل dc به ac می باشد که این کار هم در فرکانس ثابت و هم فرکانس متغیر صورت می گیرد. ولتاژ خروجی می تواند در یک فرکانس متغیر یا ثابت دارای دامنه متغیر یا ثابت باشد که ولتاژ خروجی متغیر می تواند با تغییر ولتاژ ورودی dc و ثابت نگه داشتن ضریب تقویت اینورتر به دست آید. از سوی دیگر اگر ولتاژ ورودی dc ثابت و غیر قابل کنترل باشد، می توان برای داشتن یک ولتاژ خروجی متغیر از تغییر ضریب تقویت اینورتر که معمولاً با کنترل مدولاسیون عرض پالس<sup>۲</sup> در اینورتر انجام می شود، استفاده کرد. ضریب تقویت اینورتر عبارت است از نسبت دامنه ی ولتاژ ac خروجی به dc ورودی.

اینورترها به دو دسته تقسیم می شوند: ۱- اینورتر تک فاز و ۲- اینورتر سه فاز؛ که خود آنها نیز بسته به نوع کموتاسیون<sup>۳</sup> تریتورها به چهار قسمت تقسیم می شوند. الف. اینورتر با مدولاسیون عرض پالس (PWM)، ب. اینورتر با مدار تشدید، پ. اینورتر با کموتاسیون کمک، ت. اینورتر با کموتاسیون تک میلی؛ که اگر ولتاژ ورودی اینورتر ثابت باشد، اینورتر با تغذیه ولتاژ<sup>۴</sup> و اگر وسیله ی جریان قابل تنظیم منبع dc امیدانس بالایی (یک منبع جریان dc ثابت) تغذیه می شود، اینورتر با تغذیه جریان می نامند.

از بین این اینورترهای تک فاز، دو نوع معروف به نام اینورتر تک فاز با سر وسط و اینورتر پل تک فاز می باشد که در این جا به اختصار نوع پل تک فاز آن را بررسی کرده و سپس راجع به اینورترهای سه فاز توضیح خواهیم داد.

## ۱-۲- اینورتر تک فاز

در این نوع اینورتر همان طور که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است، با آتش شدن تریتور مکمل  $T_4$  تریتور  $T_4$  خاموش می گردد. اگر بار سلفی باشد جریان بار بلافاصله معکوس نمی شود و لذا وقتی کموتاسیون کامل شد، تریتور  $T_4$  خاموش می شود و جریان بار به دیود  $D_4$  منتقل می شود. فرمان کموتاسیون نسبت به زمان فرکانس بار اینورتر خیلی کوتاه می باشد. در این جا ما کموتاسیون را ایده آل فرض می کنیم.

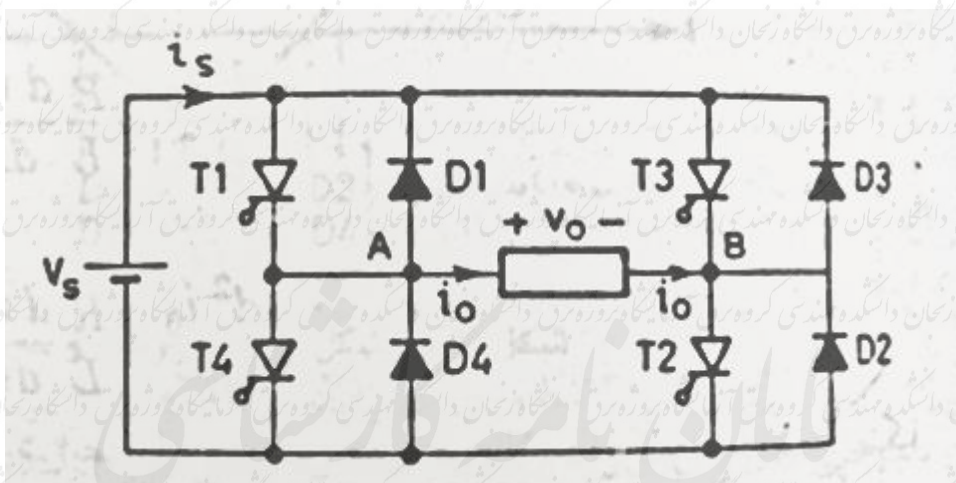
<sup>۱</sup> inverter

<sup>۲</sup> Pulse-width modulation (PWM)

<sup>۳</sup> commutation

<sup>۴</sup> Voltage source inverter (VSI)





شکل ۱-۱ مدار اینورتر پل تک فاز

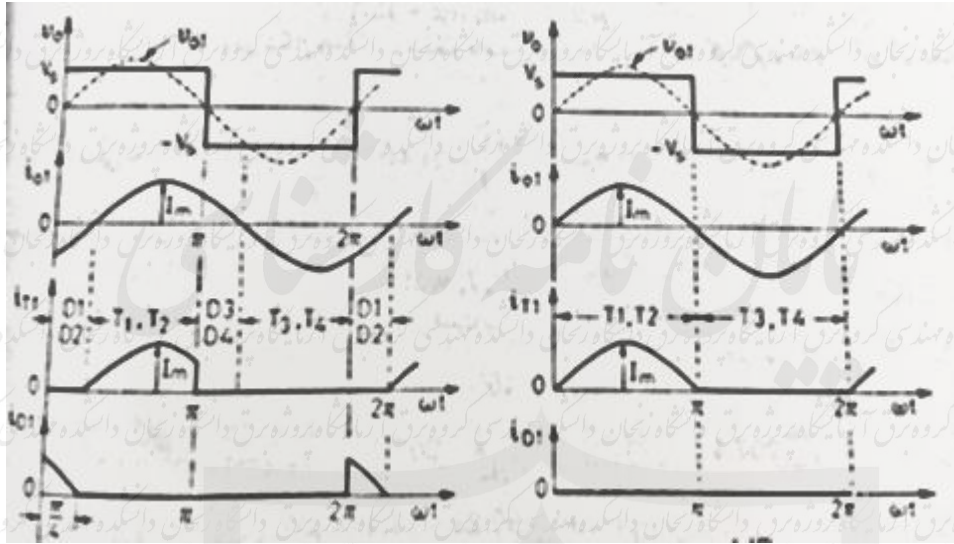
حال اگر بار مقاومتی خالص باشد، روشن کردن متناوب  $T_2T_1$  و  $T_4T_3$  باعث می‌شود که یک شکل موج مربعی دو سر بار قرار گیرد. هرچند در حالت بار سلفی، شکل موج جریان تأخیر دارد ولی مربعی می‌باشد. این شکل موج مربعی در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. تریستور با استفاده از یک قطار پالس ۱۸۰ درجه که به آن اعمال می‌شود، روشن می‌شود. به وسیله‌ی انتهای نیم‌پریود مثبت معلوم می‌شود که جریان بار، مثبت می‌باشد و به صورت نمایی در حال افزایش است. وقتی که تریستورهای  $T_1$  و  $T_2$  خاموش می‌شوند، تریستورهای  $T_3$  و  $T_4$  روشن شده و ولتاژ بار معکوس می‌گردد، ولی جریان بار تغییر نمی‌کند و مسیر جریان بار، دیودهای  $D_3$  و  $D_4$  می‌باشند که منبع dc را به دو سر بار وصل می‌کنند و ولتاژ معکوس شده و انرژی تا زمانی که جریان به صفر برسد، از بار به منبع منتقل می‌شود. از آن جایی که در لحظه صفر شدن بار، جریان تریستورها نیاز به تحریک (آتش شدن) مجدد دارند، لذا یک قطار پالس آتش نیاز است تا هر لحظه که جریان صفر شد، بلافاصله تریستورهای بعدی را روشن کند.

می‌توان ولتاژ خروجی را به صورت شکل موج مربعی با پریود صفر نیز درست کرد. همان‌طور که در شکل ۱-۲ نشان داده شده است، این نوع شکل موج را می‌توان با جلو بردن زاویه آتش تریستورهای  $T_1$  و  $T_3$  نسبت به تریستورهای  $T_2$  و  $T_4$  درست کرد. همان‌طور که از شکل دیده می‌شود قطار پالس آتش تریستور به اندازه‌ی  $\phi$  درجه عقب‌تر از قطار پالس تریستور  $T_2$  و  $T_3$  می‌باشد. در شکل ۱-۲ فرض می‌کنیم با خاموش شدن تریستور  $T_1$ ، تریستور  $T_4$  روشن شود، جریان بار به دیود  $D_4$  منتقل می‌شود اما از آن جایی که تریستور  $T_2$  هنوز روشن است، جریان بار در مسیر بار در  $D_4$  و  $T_2$  جاری می‌شود، بار اتصال کوتاه شده و ولتاژ بار صفر می‌شود. وقتی که تریستور  $T_2$  خاموش و تریستور  $T_3$  روشن می‌شود، تنها مسیر جریان بار، دیود  $D_3$  هست و منبع dc در جهت منفی به بار متصل می‌شود و

دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

تریستورهای  $T_3$  و  $T_4$  بلافاصله پس از صفر شدن جریان بار هدایت نمی کنند لذا شکل جریان تریستور و دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

دیود متفاوت می شود.

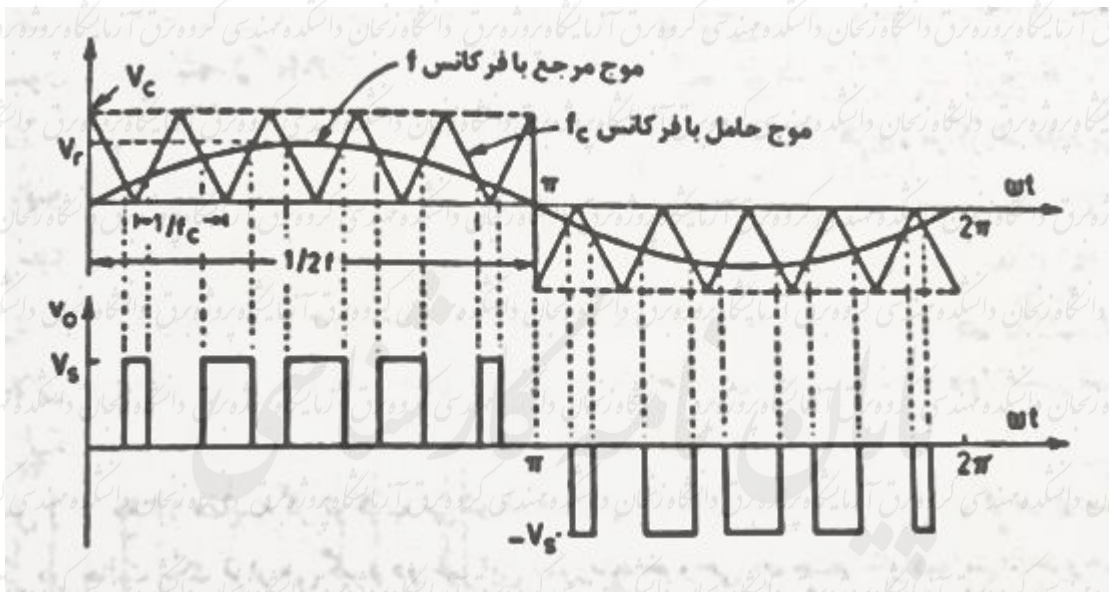


شکل ۲-۱ خروجی مربعی

### ۳-۱- اینورتر تک فاز PWM

اینورتر کنترل شده جهت تولید شکل موج مدوله شده عرض پالس، دارای شکل موجی مطابق شکل ۱-۱ می باشد. همان طور که از شکل دیده می شود، در این روش سعی شده است که در نقاط نزدیک پیک پریود روشن بودن طولانی تر باشد. این روش را کنترل مدولاسیون پهنای پالس (PWM) می نامند. در این روش، هارمونیک های مرتبه پایین در شکل موج مدوله شده، پهنای پالسی خیلی کمتر از شکل های موج های دیگر دارند.

با توجه به شکل ۱-۳ ملاحظه می کنید که در برخی از فواصل، ولتاژ اعمال شده به مدار مصرف باید صفر باشد که عملی کردن آن به این صورت است که در طی این فواصل یا تریستورهای  $T_1$  و  $T_3$  به طور همزمان روشن هستند و یا تریستورهای  $T_2$  و  $T_4$ . به هر حال، خروج دیود و تریستور که به صورت سری با بار قرار می گیرند، باعث اتصال کوتاه شدن بار می شوند. در این روش باید توجه شود که در هر سیکل تعداد کموتاسیون، حداقل بوده و نیز تریستورها به صورت قرینه روشن شوند.

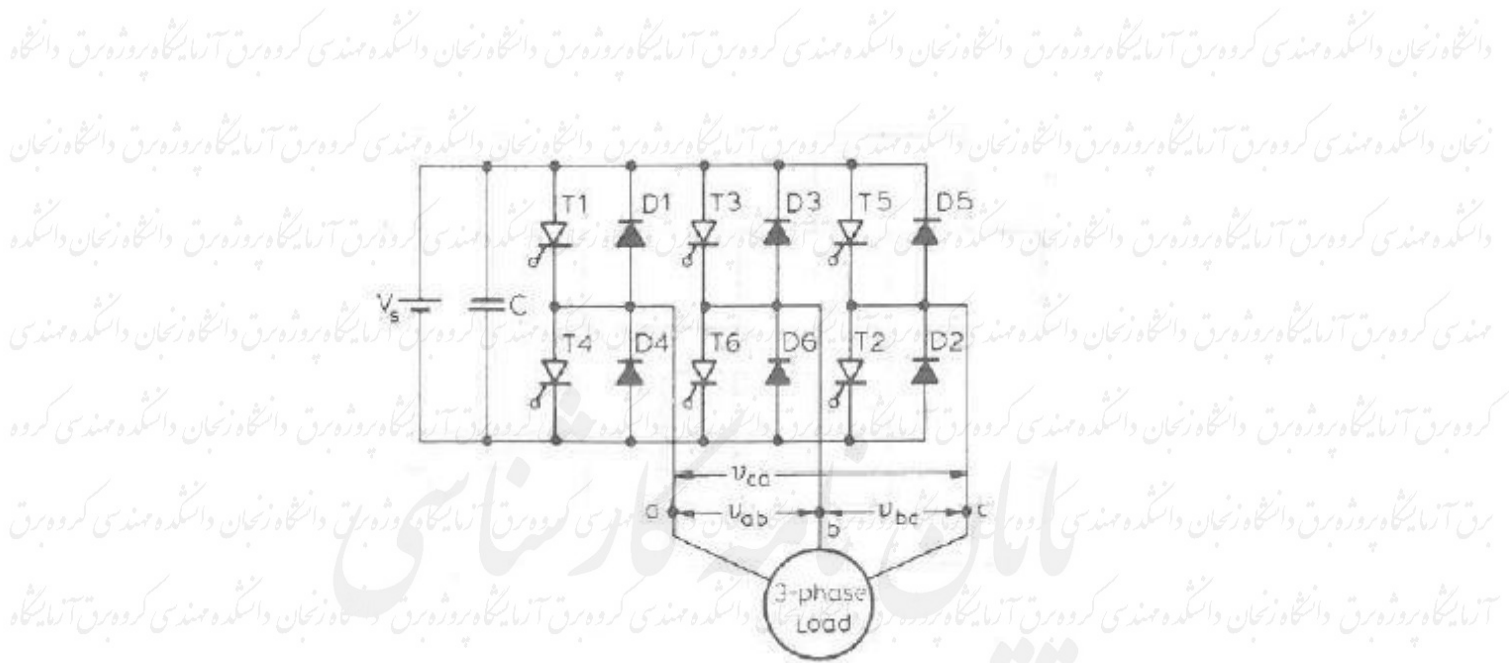


شکل ۳-۱ موج ولتاژ خروجی با مدولاسیون پالس سینوسی

برای تولید یک شکل موج همانند شکل ۳-۱ نیازمند اعمال کموتاسیون‌های زیادی در هر سیکل هستیم. از آن جایی که در انتها و ابتدای هر سیکل، باید دو سر بار، اتصال کوتاه و ولتاژش صفر شود، لذا باید یک تریستور در ابتدا و انتهای هر سیکل قطع شود که این عمل تلفات ناشی از کموتاسیون را افزایش می‌دهد. اما برای کاهش این تلفات باید تعداد کموتاسیون در هر سیکل کاهش یابد که این کاهش تعداد کموتاسیون به صورت زیر می‌باشد که در انتهای هر پالس، تنها یکی از دو تریستور هادی جریان قطع گردد و هیچ تریستور دیگری به منظور اتصال کوتاه کردن دو سر بار روشن نگردد و در شروع پالس بعدی، آن تریستوری که در انتهای پالس قبلی خاموش شده بود، بار دیگر روشن گردد.

#### ۴-۱- اینورترهای سه فاز

در کاربردهای با توان بالا (سایر جاهایی که به سه‌فاز نیاز باشد) از اینورتر سه‌فاز استفاده می‌شود. اینورتر سه‌فاز را می‌توان با اتصال موازی سه اینورتر تک‌فاز پل درست کرد و هم‌چنین باید توجه داشت که جریان گیت آن‌ها باید با هم ۱۲۰ درجه اختلاف فاز داشته باشد تا ولتاژهای سه‌فاز متقارن ایجاد گردد. برای حذف هارمونیک‌های مضرب سه در ولتاژ خروجی می‌توان از یک ترانس در خروجی اینورتر استفاده کرد و اتصال ثانویه آن را به صورت ستاره و اتصال بار را به صورت مثلث بست. مطابق شکل ۴-۱ که یک مدار اینورتر سه‌فاز را نشان می‌دهد که شامل ۶ تریستور، ۶ دیود و منبع تغذیه می‌باشد.



شکل ۴-۱ اینورتر سه فاز

این اینورتر دارای ساختمان کلی مطابق شکل ۴-۱ می باشد و بر اساس نحوه سیگنال فرمان به دو روش برق دسته تقسیم می شود. ۱- هدایت ۱۲۰ درجه؛ ۲- هدایت ۱۸۰ درجه.

با وجود این دو روش، سیگنال فرمان گیت ها باید به گونه ای باشد که در هر فاصله ۶۰ درجه، به گیت وصل یا از آن قطع شود و همچنین اینورترها نیز به گونه ای طراحی شده اند که هر کدام بتوانند ۱۸۰

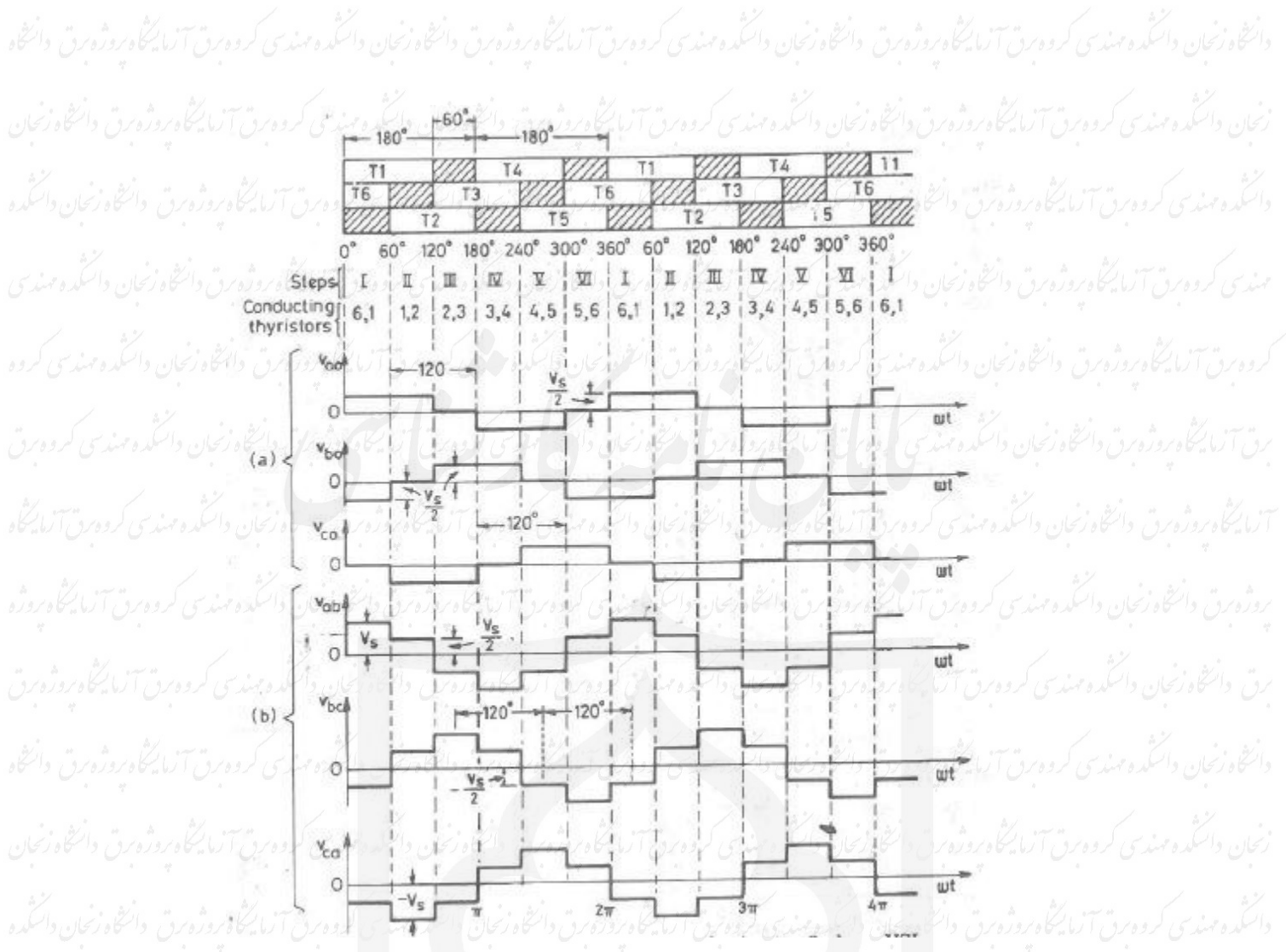
درجه هدایت کنند و همچنین اگر باری که توسط اینورتر تغذیه می شود سلفی باشد، جریان بار در هر فاز نسبت به ولتاژ پس فاز می شود.

#### ۵-۱- اینورتر سه فاز با هدایت ۱۲۰ درجه

در این روش در هر لحظه دو تریستور هدایت می کند چون کلاً ۶ تریستور داریم جمعاً  $6 \times 120 = 720$  هدایت داریم و در هر ۳۶۰ درجه تعداد تریستورهایی که هدایت می کنند برابر است با:

$$\frac{720}{360} = 2$$

یعنی در لحظه دو تریستور به صورت هم زمان هدایت می کنند که یکی از تریستورها جریان را به بار می برد و دیگری نیز جریان را از بار برمی گرداند. مطابق شکل ۵-۱ ملاحظه می شود که پالس گیت ها



شکل ۵-۱ خروجی جدول اعمال پالس گیت با هدایت ۱۲۰ درجه

مشاهده می شود که در ۶۰ درجهی ابتدایی،  $T_1$  و  $T_6$  روشن است و عمل هدایت را انجام می دهند و سر  $a$  بار مقاومتی به سر مثبت و سر  $b$  به پایهی منفی منبع  $dc$  وصل می شود و سر  $c$  به منبع وصل

نخواهد شد و ولتاژ خط به خنثی به صورت زیر است:

$$v_{ao} = \frac{V_s}{\sqrt{3}}, v_{ob} = \frac{V_s}{\sqrt{3}}, v_{bo} = -\frac{V_s}{\sqrt{3}}, v_{co} = 0$$

در ۶۰ درجهی دوم،  $T_6$  خاموش شده و  $T_1$  روشن مانده است و  $T_2$  روشن می شود که روابط آن را نیز

می توان مطابق بالا نوشت. با توجه به شکل ۵-۱ درمی یابیم که ولتاژهای فاز دارای یک پالس مثبت و یک پالس منفی (هر یک به طول  $120^\circ$ ) در یک سیکل ولتاژ متناوب خروجی است؛ اما ولتاژهای خط، در هر سیکل ولتاژ متناوب خروجی، دارای شش پله هستند.

