



دانشکده فنی مهندسی

گروه برق

شبیه‌سازی اینورتر سه فاز با مدولاسیون عرض پالس به منظور حذف هارمونیک‌های

دلخواه از آن در محیط سیمولینک نرم‌افزار متلب

پایان‌نامه جهت اخذ درجه‌ی کارشناسی

رشته‌ی مهندسی برق گرایش کنترل

استاد راهنما:

دکتر مهرداد بابا زاده

نگارش:

پرستو گرمی

تابستان 95

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 دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

فهرست مطالب

عنوان صفحه

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 دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

فصل اول 1

بررسی توپولوژی‌های مختلف اینورترها 1

1-1-1 مقدمه 2

1-2-1 آشنایی با ساختار اینورترهای منبع ولتاژ 3

1-2-1-1 اینورترهای منبع ولتاژ تک فاز 3

1-2-1-2-1 ساختار اینورتر منبع ولتاژ نیم پل تک فاز (Half-Bridge) 3

1-2-1-2-2 ساختار اینورتر منبع ولتاژ تمام پل تک فاز (Full-Bridge) 4

1-2-2-1 اینورتر منبع ولتاژ سه فاز 5

1-2-2-2-1 ساختار کلی اینورتر منبع ولتاژ سه فاز (شش سوئیچ) 5

1-2-2-2-1 کنترل ولتاژ اینورتر شش پله‌ای: 7

1-2-2-3 اینورتر منبع ولتاژ فرکانس متغییر: 9

یکی از کاربردهای مهم اینورترها در کنترل ماشین‌های القایی می‌باشد. 9

1-2-3-1 اینورترهای چندطبقه و چند سطحی: 12

1-2-4-1 تلفات در اینورترها 14

1-3-1 اینورترهای منبع جریان 16

1-3-1-1 اینورتر منبع جریان سه فاز: 17

1-3-2-1 منابع جریان 21

1-3-3-1 مدولاسیون پهنای پالس در یک اینورتر منبع جریان تریستوری: 22

1-4-1 مقایسه محرکه‌های اینورتر منبع جریان و ولتاژ: 23

فصل دوم: 25

| | |
|----|---|
| 25 | اینورتر با مدولاسیون عرض پالس |
| 26 | 1-2- مقدمه |
| 27 | 2-2- انواع روش‌های مدولاسیون عرض پالس: |
| 27 | 1-2-2- مدولاسیون تکی عرض پالس |
| 29 | 2-2-2- مدولاسیون یکنواخت عرض پالس (UPWM): |
| 30 | 2-2-3- مدولاسیون سینوسی عرض پالس SPWM |
| 30 | 2-2-4- مدولاسیون سینوسی تصحیح‌شده عرض پالس (MSPWM) |
| 31 | 2-2-5- کنترل جابجایی فاز و حذف هارمونیک: |
| 36 | فصل سوم: |
| 36 | شبیه‌سازی اینورتر سه فاز با مدولاسیون PWM |
| 37 | 1-3- مقدمه |
| 37 | 2-3- توپولوژی اینورتر سه فاز |
| 38 | 3-3- تولید شکل موج مثلثی: |
| 39 | 3-4- طراحی پالس PWM برای یک سویچ: |
| 40 | 3-5- تولید PWM برای سه فاز: |
| 41 | 3-6- استفاده از Goto و From: |
| 42 | 3-7- تعریف متغیر |
| 46 | 3-8- ایجاد توپولوژی اینورتر |
| 48 | فصل چهارم: |
| 48 | نتایج شبیه‌سازی اینورتر سه فاز با مدولاسیون عرض پالس و حذف هارمونیک‌های دلخواه از آن: |
| 49 | 4-1- چکیده |
| 49 | 4-2- مقدمه |
| 49 | 4-3- تنظیمات اینورتر چند سطحی شامل: |

فهرست اشکال

عنوان صفحه

| | |
|--|----|
| شکل (1-1) توپولوژی اینورتر تک فاز منبع ولتاژ نیم پل | 4 |
| شکل (1-2) شکل موج خروجی اینورتر نیم پل | 4 |
| شکل (1-3) توپولوژی اینورتر تک فاز منبع ولتاژ تمام پل | 4 |
| شکل (1-4) ولتاژ خروجی اینورتر تک فاز پل | 5 |
| شکل 1-5 نمای کلی یک مبدل منبع ولتاژ نمونه‌ای | 6 |
| شکل 1-6 روش‌های کنترل ولتاژ در محرکه‌های اینورتری شش پله‌ای | 7 |
| شکل 1-7 محرکه اینورتر PWM حلقه باز با فرکانس متغیر و ترمز دینامیکی | 10 |
| شکل (1-8) ساختار اینورتر چندطبقه | 13 |
| شکل (1-9) | 14 |
| شکل 1-10 مسیر عبور جریان در هر فاز یک اینورتر سه فاز | 15 |
| شکل (1-11) | 16 |
| شکل (1-12) اینورتر تکفاز با منبع جریان ثابت | 17 |
| شکل 1-13 اینورتر منبع جریان سه فاز | 18 |
| شکل (1-14) اینورتر منبع جریان با کموتاسیون خودی متوالی | 20 |
| شکل (1-15) مدار معادل اینورتر در طی مرحله جابجایی جریان | 20 |
| شکل (1-16) منابع جریان | 22 |
| شکل (1-17) شکل موج‌های جریان اینورتر منبع جریان PWM | 23 |
| شکل (1-2) مدولاسیون تکی عرض پالس | 27 |
| شکل (2-2) | 28 |

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 دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

شکل (2-3) مدولاسیون یکنواخت عرض پالسی 29

شکل (2-4) 29

شکل (2-5) 30

شکل (2-6) 31

شکل (2-7) 31

شکل (2-8) 32

شکل (2-9) 33

شکل (2-10) 33

شکل (2-11) 34

شکل (2-12) 34

شکل (2-13) 34

شکل (3-1) 37

شکل (3-2) 37

شکل (3-3) 38

شکل (3-4) 38

شکل (3-5) 39

شکل (3-6) 39

شکل (3-7) 40

شکل (3-8) 41

شکل (3-9) 41

شکل (3-10) 42

شکل (3-11) 42

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 دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

شکل (3-12) 43

شکل (3-13) 43

شکل (3-14) 44

شکل (3-15) 44

شکل (3-16) 45

شکل (3-17) 45

شکل (3-18) 46

شکل (3-19) 46

شکل (3-20) 46

شکل (4-1) 53

شکل (4-2) نمای کلی شبیه سازی 55

شکل (4-3) شکل موج ولتاژ خروجی اینورتر سه فاز 56

شکل (4-4) شکل موج جریان خروجی اینورتر سه فاز 56

شکل (4-5) شکل موج پالس های کنترلی 57

شکل (4-6) نمایش حذف هارمونیک با استفاده از آنالیز FFT 57

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 دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

1-1. مقدمه

مبدل‌های جریان مستقیم به متناوب به نام اینورتر شناخته می‌شود. وظیفه یک اینورتر تبدیل یک ولتاژ ورودی مستقیم به یک ولتاژ خروجی متناوب و متقارن با دامنه فرکانس مورد نظر است. ولتاژ خروجی می‌تواند در فرکانس ثابت یا متغیر، مقداری ثابت یا متغیر داشته باشد. ولتاژ خروجی را می‌توان با تغییر ولتاژ ورودی مستقیم و ثابت نگاه داشتن بهره اینورتر به دست آورد. از طرفی، اگر ولتاژ ورودی مستقیم ثابت بوده و قابل کنترل نباشد، می‌توان با تغییر بهره اینورتر، یک ولتاژ متغیر را در خروجی به دست آورد که این عمل معمولاً به وسیله کنترل مدولاسیون پهنای پالس (PWM) در داخل اینورتر صورت می‌گیرد. بهره اینورتر را می‌توان برابر با نسبت ولتاژ متناوب خروجی به ولتاژ مستقیم ورودی تعریف کرد.

شکل موج‌های ولتاژ خروجی در اینورترهای ایده آل باید سینوسی باشد، باین حال در اینورترهای عملی این شکل موج‌ها غیر سینوسی بوده و دارای یک سری هارمونیک‌های مشخص می‌باشد. در کاربردهای توان متوسط و توان پایین، ولتاژهای مربعی و یا تقریباً مربعی ممکن است قابل قبول باشد ولی در کاربردهای توان بالا، به موج‌های سینوسی با اعوجاج بسیار کم نیاز است. با در اختیار داشتن قطعات نیمه‌هادی قدرت، می‌توان با استفاده از روش‌های کلید زنی، هارمونیک‌های ولتاژ خروجی را به نحو چشمگیری کاهش داد.

اینورترها به طور گسترده‌ای در صنعت بکار می‌روند (مثل گرداننده‌های موتور AC با دور متغیر، گرم‌کنندگی القایی، منابع تغذیه کمکی و منابع تغذیه بدون وقفه). ورودی اینورتر ممکن است یک باتری، سلول خورشیدی، پیل سوختی و یا هر منبع مستقیم دیگری باشد.

اینورترها به دو گروه تقسیم می‌شوند: اینورترهای منبع ولتاژ (VSI) که از یک خازن در شاخه dc استفاده می‌کنند و اینورترهای منبع جریان (CSI) که از یک سلف در شاخه dc استفاده می‌کنند. هر دسته می‌تواند بسته به نوع کاربرد از عناصر روشن‌کننده و خاموش‌کننده کنترل شده (مثل BJT ها، MOSFET ها، MCT ها، SIT ها و GTO ها) و یا ترستورهای با کموتاسیون اجباری استفاده کند. این اینورترها معمولاً از سیگنال‌های کنترل PWM برای تولید ولتاژ خروجی متناوب استفاده می‌کنند. اگر ولتاژ ورودی اینورتر ثابت باشد اینورتر به نام اینورتر تغذیه شونده با ولتاژ و در صورتی که جریان ورودی ثابت نگه داشته شود، به نام اینورتر تغذیه شونده با جریان خوانده می‌شود و اگر ولتاژ ورودی قابل کنترل باشد، اینورتر با اتصال DC متغیر نامیده می‌شود.

اینورترهای منبع ولتاژ بیشتر از اینورترهای منبع جریان مورد استفاده قرار می‌گیرند زیرا روش‌های مختلف مدولاسیون پهنای پالس (PWM) کارکردی مناسب برای آن‌ها ایجاد می‌کند. علاوه بر این، رنج فرکانسی اینورتر منبع ولتاژ بسیار بیشتر از اینورتر منبع جریان و قیمت آن نیز ارزان‌تر می‌باشد. در این فصل اینورترهای منبع ولتاژ و منبع جریان مورد بررسی قرار می‌گیرند. اگرچه مدار پایه در یک اینورتر ممکن است

بسیار ساده به نظر برسد ولی کلیدزنی مناسب سوئیچ‌ها، چالش‌های فراوانی برای مهندسين الکترونیک به وجود می‌آورد. معمولی‌ترین تکنیک سوئیچینگ، مدولاسیون پهنای پالس (PWM) است. PWM تکنیکی بسیار قوی برای کنترل مدارهای آنالوگ با خروجی دیجیتال پرسسوری می‌باشد و در محدوده وسیعی از کاربردها مورد استفاده قرار می‌گیرد و در درایوهای AC، قادر به کنترل فرکانس و اندازه ولتاژ و جریان اعمال شده به موتور می‌باشد. از این رو درایو موتورهای تغذیه شده به وسیله اینورترهای PWM دارای محدوده کارکرد بسیار مناسب و کارا تر از درایوهای موتورهای فرکانس ثابت می‌باشند. انرژی که اینورتر PWM به موتور AC اعمال می‌گردد به وسیله سیگنال‌های PWM که گیت‌های سوئیچ‌های قدرت در زمان‌های مختلف با تغییر مدت زمان برای تولید ولتاژ خروجی خواسته شده، کنترل می‌گردد.

آنچه در این فصل مورد بررسی قرار می‌گیرید توصیف ساختارهای مختلف اینورترهای منبع ولتاژ و منبع جریان اعم از سه فاز و تک فاز و بررسی روش‌های مختلف مدولاسیون پهنای پالس است. علاوه بر آن مسائلی از قبیل مدولاسیون‌های تک قطبی و دوقطبی و روش‌های مختلف کنترل ولتاژ و جریان در این فصل مورد بررسی قرار می‌گیرد. تکنیک‌های متعددی برای مدولاسیون پهنای پالس موجود می‌باشند که جزئیات تمامی روش‌های آن فراتر از بحث‌های مطرح شده در این پایان‌نامه است. از این رو متدهای مدولاسیون پهنای پالس که در این پایان‌نامه مورد قرار می‌گیرند، هریک به اختصار در این فصل بیان می‌گردند.

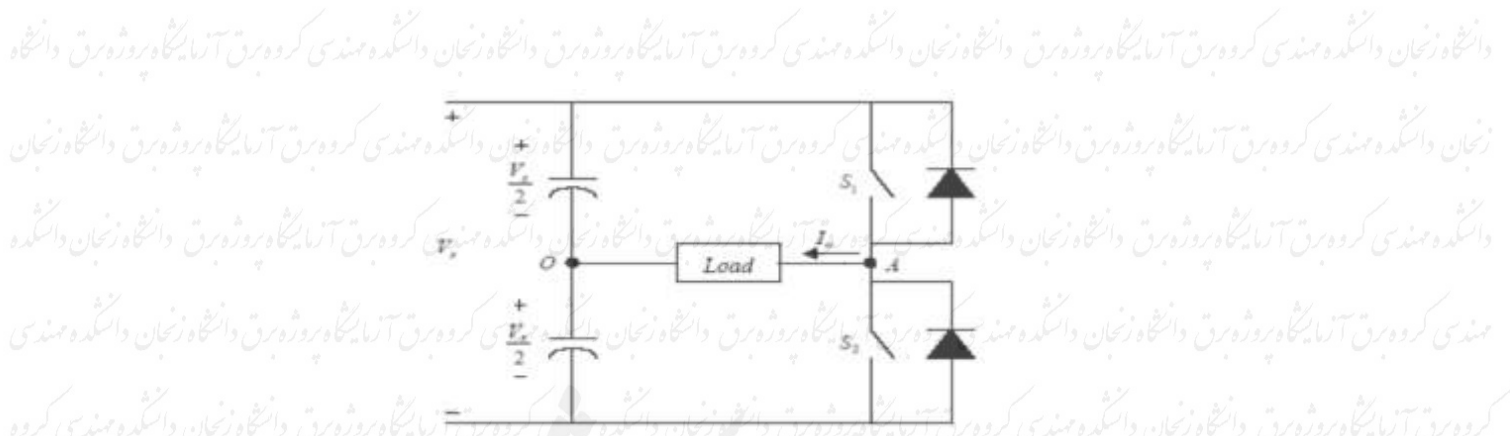
1-2-1. آشنایی با ساختار اینورترهای منبع ولتاژ

اینورترهای DC/AC در منابع تغذیه AC و موتورهای AC به کار می‌روند که هدف آن‌ها تولید ولتاژ خروجی سینوسی با اندازه و فرکانس قابل کنترل است. اینورترها هم در سیستم‌های AC تک فاز و سه فاز مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. در این قسمت ساختارهای مختلف اینورتر منبع ولتاژ اعم از سه فاز و تک فاز مورد بررسی قرار می‌گیرند.

1-2-1-1- اینورترهای منبع ولتاژ تک فاز

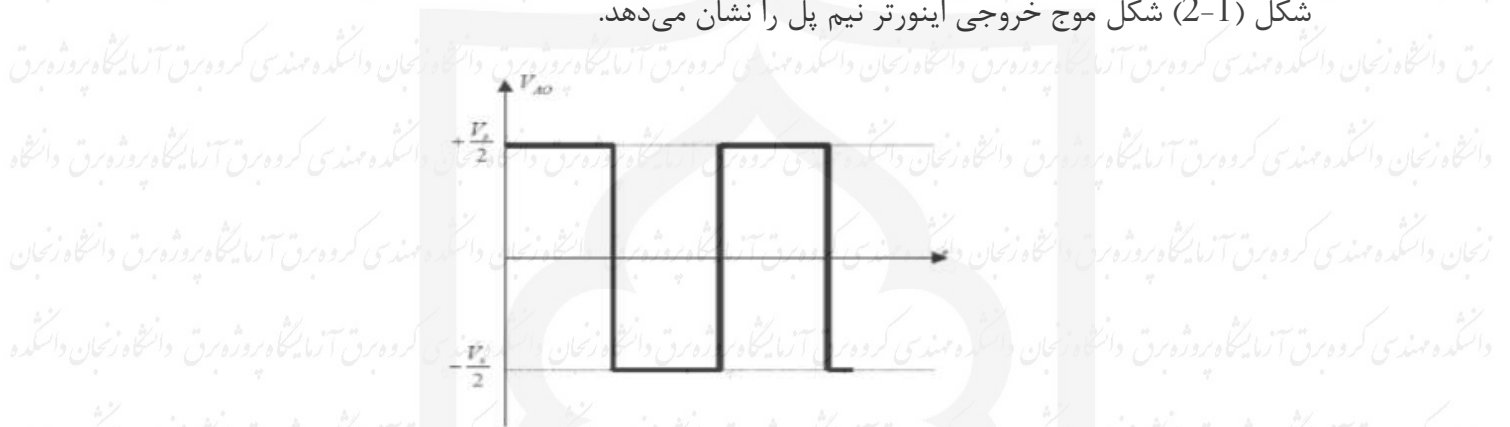
1-1-2-1- ساختار اینورتر منبع ولتاژ نیم پل تک فاز (Half-Bridge)

اینورتر منبع ولتاژ تک‌فاز نیم پل (Half-Bridge)، ساده‌ترین توپولوژی است که برای تولید شکل موج خروجی موج مربعی دوسطحی مورد استفاده قرار می‌گیرند. یک منبع ولتاژ سر وسط دار در این توپولوژی مورد نیاز است که بدین منظور عمدتاً از دو خازن سری با مقدار برابر ایجاد سر وسط استفاده می‌گردد. شکل (1-1) ساختار یک اینورتر تک فاز منبع ولتاژ نیم پل را نشان می‌دهد.



شکل (1-1) توپولوژی اینورتر تک فاز منبع ولتاژ نیم پل

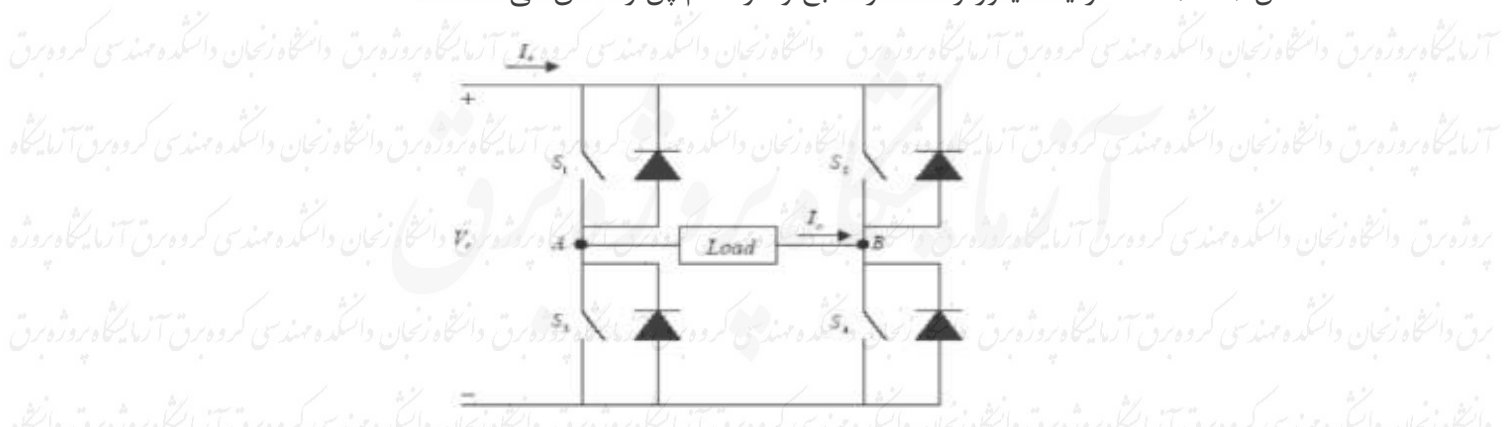
در اینورتر مذکور به دو سوئیچ نیاز است و برای اجتناب از خطای Shoot Through، دو سوئیچ نباید در یک زمان روشن باشند. در یک نیم سیکل S1 روشن و S2 خاموش می‌گردد تا ولتاژ $\frac{V_s}{2}$ در دو سر بار ایجاد گردد و در نیم سیکل بعدی S2 روشن و S1 خاموش است تا ولتاژ $-\frac{V_s}{2}$ در دو سر بار ایجاد می‌گردد. شکل موج خروجی اینورتر نیم پل را نشان می‌دهد.



شکل (1-2) شکل موج خروجی اینورتر نیم پل

1-2-1-2-2-1 ساختار اینورتر تک فاز (Full-Bridge)

شکل (1-3) ساختار یک اینورتر تک فاز منبع ولتاژ تمام پل را نشان می‌دهد.



شکل (1-3) توپولوژی اینورتر تک فاز منبع ولتاژ تمام پل

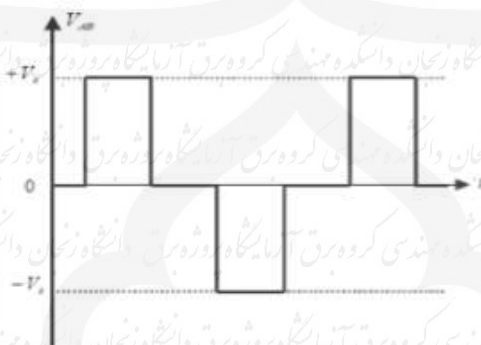
دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان

جدول (1-1) حالت‌های مختلف سوئیچینگ اینورتر پل تکفاز را برای ایجاد سطوح ولتاژ مختلف نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که سوئیچ‌های یک‌پایه به‌صورت مکمل هم خاموش و روشن می‌گردند و سوئیچ‌های S2, S3 برای جلوگیری از اتصال کوتاه دوسر منبع ولتاژ، نباید به‌طور هم‌زمان روشن باشند.

جدول (1-1) حالت‌های مختلف سوئیچینگ اینورتر تک فاز پل

| Conducting Switches | Load Voltage(VAB) |
|---------------------|-------------------|
| S1 , S4 | V_s |
| S2 , S3 | $-V_s$ |
| S1,S2 or S3,S4 | 0 |

شکل (1-4) ولتاژ خروجی یک اینورتر تک فاز منبع ولتاژ پل را نشان می‌دهد.

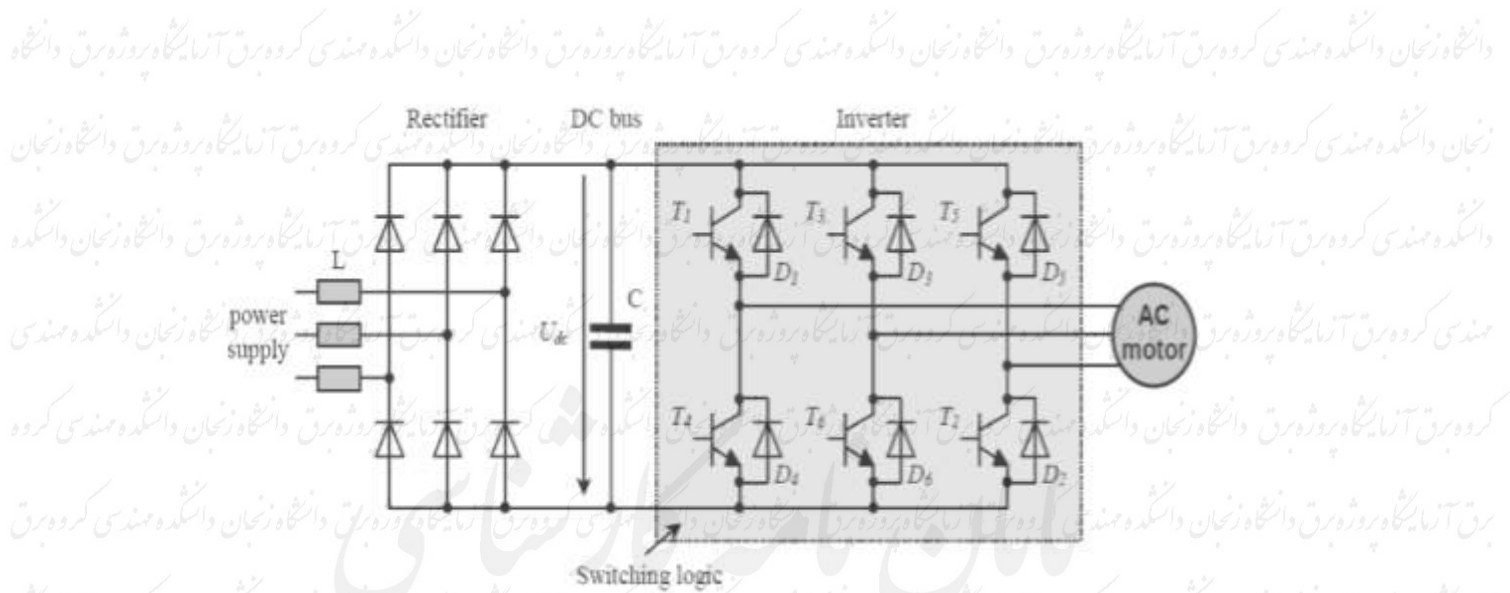


شکل (1-4) ولتاژ خروجی اینورتر تک فاز پل

1-2-2-1- اینورتر منبع ولتاژ سه فاز

1-2-2-1- ساختار کلی اینورتر منبع ولتاژ سه فاز (شش سوئیچه)

شکل (1-5) طرح یک مبدل منبع ولتاژ نمونه‌ای را نشان می‌دهد که تبدیل قدرت AC-AC را در دو مرحله انجام می‌دهد: تبدیل ولتاژ AC به DC و تبدیل به AC با فرکانس دلخواه.



شکل 1-5 نمای کلی یک مبدل منبع ولتاژ نمونه‌ای

همان‌طور که در شکل (1-5) مشاهده می‌گردد، ولتاژ منبع تغذیه توسط یکسو کننده‌ها که معمولاً پل دیودی می‌باشند یکسو می‌گردد. سپس ولتاژ یکسو شده توسط خازن C در لینک DC، فیلتر می‌گردد. لازم به ذکر است که خازن لینک DC دارای مقدار قابل توجهی است (2 تا 20 میلی فاراد) و بنابراین یک فاکتور اساسی در هزینه می‌باشد. همچنین اینورتر می‌تواند توسط یک منبع ولتاژ DC ثابت تغذیه گردد. با توجه به شکل (1-5)، ولتاژ سینوسی AC در یک اینورتر PWM سه فاز با فرکانس و اندازه خواسته شده برای تغذیه موتور توسط کلید زنی شش سوئیچ نیمه‌هادی ایجاد می‌گردد. ادوات کلید زنی باید دارای قابلیت‌های مناسبی در خاموش شدن (off) و روشن شدن (on) داشته باشند.

در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های وسیع در زمینه‌ی توسعه ادوات نیمه‌هادی، قابلیت هدایت جریان بیشتر و مسدود کردن (تحمل کردن) ولتاژهای بالاتر را فراهم کرده است. در حال حاضر این ادوات کلید زنی نیمه‌هادی شامل ترისტورهای گیت خاموش شونده (GTO)، ترისტورهای کنترل شونده با MOS (MCT)، ترانزیستورهای پیوند دوقطبی (BJT)، ترانزیستور اثر میدان (FET)، ترانزیستور اثر میدان (MOSFET) MOS، ترانزیستور دوقطبی گیت مجزا (IGBT) می‌باشند. IGBT ترکیبی از تکنولوژی MOSFET های قدرت و ترانزیستور دوقطبی و ترانزیستور دوقطبی می‌باشد و مزایای هر دو را شامل می‌گردد. در سال‌های اخیر جریان اسمی و ولتاژ اسمی ماکزیمم IGBT ها به ترتیب به حد 1KA و 3KV رسیده است و به سرعت از این فراتر می‌رود و بدین ترتیب جایگزین GTO در سطوح قدرت بالاتر می‌شوند. به صورت موازی با کلیدهای قدرت، دیودهای بازبایی معکوس (Reverse Recovery) قرار می‌گیرند تا جریان را متناسب باحالت‌های کلید زنی و جهت جریان از خود عبور می‌دهند و ولتاژ معکوس را در دوسر آن تحمل کنند.

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

انرژی‌های چندسطحی: در این نوع اینورترها از اینورترهایی با تعداد چند عنصر کلیدی در هر بازوی پل استفاده می‌گردد که با ترکیب مناسب این عناصر باهم می‌توان به چندین سطح در سیگنال خروجی رسید. این عمل را با اتصال موازی اینورترها نیز می‌توان انجام داد. فایده این عمل در کاهش ابعاد سیستم فیلترینگ می‌باشد.

- شبیه سازی اینورتر چندسطحی با بار مقاومت خالص در شکل (4-7) نشان داده شده است.

8-4- مقدار محاسبه شده از زاویه سوئیچینگ

$$\alpha_1 = 0.0409 \text{ و } \alpha_2 = 0.5055 \text{ و } \alpha_3 = 0.7830 \text{ و } \alpha_4 = 1.4534$$

9-4- نتایج شبیه سازی

زاویه سوئیچینگ توسط الگوریتم بحث شده در بالا محاسبه می‌شود و سپس مقدار محاسبه شده برای پالس آتش به اینورتر سطح نه استفاده می‌شود.

وقتی که مقاومت بار (LOAD) اضافه می‌شود، شکل موج پله‌ای به دست آمده در شکل (4-3) نشان داده شده است. زمانی که مقاومت RL در نظر گرفته می‌شود شکل موج خروجی بهبود می‌یابد. شکل موج جریان از مقاومت RL به وضوح در شکل نشان داده شده است. تجزیه و تحلیل FFT در هر دو مورد انجام شده است.

10-4- نتیجه گیری

روش حذف هارمونیک انتخابی برای حذف هارمونیک‌های سوم و پنجم و هفتم و محاسبه زاویه سوئیچینگ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

الگوریتم پیشنهادی برای محاسبه زاویه سوئیچینگ و در نتیجه زاویه سوئیچینگ برای تصمیم‌گیری در مورد پالس‌های سوئیچینگ اینورتر کسکود سطح نه و یا چند سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

اعوجاج هارمونیک کل به 8.08 درصد کاهش می‌یابد و شکل موج ولتاژ پله به دست آمده بسیار به شکل موج سینوسی نزدیک‌تر است.

بنابراین کاهش مؤثر اعوجاج هارمونیک کل بدست می‌آید.

- [1] Chiasson. J; Tolbert. L; Mckenzie. K; Du. Z(2002). A Complete Solution to the Harmonic Elimination Problem. IEEE.pp. 503-508.
- [2] Chiasson. J; Tolbert. L; Mckenzie. K; Du. Z (2003). A New Approach to Solving the Harmonic Elimination Equations for a multilevel Converter. IEEE.pp.640-647.
- [3] Ghasemi. N; Zare. F; Langton. C; Ghosh. A. (2011). In Proceedings of the 14 European Power Electronics Conference, the International Convention Centre, Birmingham. Pp. 1-9
- [4] Kumar. J; Das. B; Agarwal. P (2008). Selective Harmonic Elimination for a Multilevel Inverter. Fifteenth National Power System Conference (NPSC), IIT Bombay.pp.608-613.
- [5] Liang. T.J; Conell; Richard. G (1997). Eliminating Harmonics in a Multilevel Converter using Resultant Theory. IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.12.No.6.pp 971-982.
- [6] Murugesan. M; Sivaranjani. S; Ashokkumar. G; Sivakkumar.R (2011). Seven Level Modified Cascaded Inverter for Induction Motor Drive Application. Journal of International Engineering and Applications. Pp.36-45.
- [7] Patel. H. S; Hoft. R. G(1973). Generalized Techniques of Harmonics Elimination and Voltage Control in Thyristor Inverters: Part II Harmonic Elimination. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.IA-9, No.3.pp.310-317
- [8] Ramani. K; Krishnan. A (2009). An Estimation of Multilevel Inverter Fed Induction Motor Drive. International Journal of Reviews in Computing. Pp.19-24
- [9] Samadi. A; Farhangi. S (2007). A Novel Optimization Method for Solving Harmonic Elimination Equations. The 7 International Conference on Power Electronics.pp.180-185.
- [10] Tolbert. L. M; Khomfoi. S. Chapter 31. Multilevel Power Converters. The University of Tennessee.pp.31-1 to 31-50
- [11] Tolbert. L. M; Khomfoi. S. Chapter 31. Multilevel Power Converters. The University of Tennessee.pp.31-1 to 31-50.