اینورترهای چندسطحی با تعداد ادوات الکترونیک قدرت کم‌تر جهت افزایش راندمان

روشنک رضائی پور*[۱]، مرتضی آهنگری حساس[۲]

*۱- استادیار، گروه برق، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران، r.a.rezaei@gmail.com
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران، stu.morteza.ahangar@iaut.ac.ir

تاریخ دریافت:۹۴/۰۹/۲۰ تاریخ پذیرش:۹۴/۱۰/۲۵

چکیده: اینورترهای منبع ولتاژی چندسطحی ساختار مناسبی را برای دستیابی به میزان توان بالا و شکل موج‌های خروجی با کیفیت بالاتر ارائه می‌دهند. تاکنون، تحقیقات گسترده‌ای در زمینه اینورترهای چند سطحی، استفاده شده در کاربردهای ولتاژ و توان بالا انجام گرفته است که به‌دلیل امتیاز آن‌ها از قبیل: اعوجاج هارمونیکی کم‌تر شکل موج‌های خروجی، تنش کم‌تر ولتاژ کلیدها و پایین بودن تداخل امواج الکترومغناطیسی سیستم، مورد توجه قرار گرفته اند. بیش‌تر اینورترهای چند سطحی دارای آرایشی از کلیدهای الکترونیک قدرت، منابع ولتاژ DC، ترانسفورماتورها و خازن‌ها هستند. ادوات الکترونیکی که در این مبدل‌ها استفاده شده‌اند موجب تزریق هارمونیک به جریان خطوط قدرت شده و به این ترتیب شکل موج جریان و ولتاژ سیستم قدرت را معوج می‌کنند، که این منجر به کاهش کیفیت توان شبکه نیز می‌شود. در این مقاله سعی بر آن است که با ارائه ساختار جدید بر اساس مدولاسیون برای اینورتر چندسطحی با تعداد ادوات الکترونیک قدرت کمتر، موجب کاهش تلفات مدار، افزایش راندمان و کیفیت توان سیستم شد و همچنین از پیچیدگی و قیمت اینورترها کاست، به منظور تایید عملکرد اینورتر چند سطحی با روش پیشنهادی، شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار PSCAD/EMTDC بر روی اینورترهای هفت سطحی و پانزده سطحی انجام گرفته است.

واژه‌های کلیدی: اینورتر چند سطحی دیود کلمپ، اینورتر چند سطحی خازن شناور، اینورتر چند سطحی کاسکاد، مدولاسیون

۱- مقدمه

اینورترهای منبع ولتاژی چندسطحی ساختار مناسبی را برای به‌دست آوردن میزان توان بالا و شکل موج‌های خروجی با کیفیت بالاتر با حفظ پاسخ‌های دینامیکی منطقی، ارائه می‌دهند. اینورترهای چند سطحی که اولین بار معرفی شدند، مبتنی بر ترکیب سری از چندین مبدل تمام پل سه سطحی بودند. این مبدل‌ها با توجه به ویژگی‌های خوبی که داشتند مورد توجه بسیاری قرار گرفته و همین امر موجب شد تا ساختارهای مختلفی برای آن‌ها معرفی شود. در حالت کلی اینورترهای چند سطحی متداول به صورت زیر تقسیم‌بندی می‌شوند[۴-۱]. اینورتر چند سطحی کلمپ دیودی با نقطه خنثی (NPC) برای اولین بار در سال ۱۹۸۰ توسط Nabae معرفی شد. در توپولوژی NPC استفاده از دیودهای کلمپ ضروری است. دراین ساختار به کمک تنظیم کلیدها به‌همراه دیودهای کلمپ و با استفاده از ترکیب سری خازن‌ها، ولتاژ لینک DC به سطوح یکسان قابل تقسیم می‌شود. توپولوژی NPC به علت این که دیودهایی ولتاژ را روی عناصر کلیدزنی نگه می‌دارند، به توپولوژی کلمپ دیودی معروف است [۵]. ساختاراینورتر چند سطحی خازن شناور مشابه توپولوژی اینورتر کلمپ دیودی است، با این تفاوت که از خازن‌ها به جای دیودها برای نگه داشتن ولتاژ روی عناصر کلیدزنی استفاده شده است[۶]. اینورتر چند سطحی کاسکاد H-bridge از اتصال سری اینورترهای تک فاز تمام پل حاصل

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.8.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013

می‌شود. در این نوع اینورتر هر یک از پل‌های تک فاز از منبع ولتاژ DC مربوط به خود تغذیه می‌شود و با کلیدزنی مناسب، ولتاژ خروجی مطلوب تولید می‌شود [۸-۷]. یکی از عیب‌های اینورتر چند سطحی نامتقارن در مقایسه با اینورتر چند سطحی متقارن، از دست دادن مدولاریتی است. در نتیجه با توجه به عدم وجود حالت‌های تکراری کامل کلیدزنی در اینورترهای چند سطحی نامتقارن نمی‌توان از روش‌های کنترل شارژ متقارن در آن‌ها استفاده کرد. روش‌های کنترل شارژ متقارن روش‌هایی هستند که در کنترل اینورتر چند سطحی متقارن به کار می‌روند تا توان مصرف شده از منابع ولتاژ DC یکسان باشد. روش‌های مدولاسیون و کنترل اینورترهای چند سطحی از دو دیدگاه، الف) مدولاسیون با فرکانس کلیدزنی پایین و ب) مدولاسیون با فرکانس کلیدزنی بالا، در مقالات متعدد مورد بررسی قرار گرفته است[۱۱-۹]. در این مقاله، با ارائه ساختار جدید بر اساس مدولاسیون برای اینورتر چندسطحی با تعداد ادوات الکترونیک قدرت کمتر، موجبات کاهش تلفات مدار و افزایش راندمان سیستم فراهم شده است. به منظور تایید عملکرد اینورتر چند سطحی با روش پیشنهادی، شبیه‌سازی بر روی اینورترهای هفت سطحی و پانزده سطحی انجام گرفته است.

قسمت های بعدی این مقاله مشتمل بر موارد زیر است:

در بخش ۲ ساختار پیشنهادی اینورتر مورد مطالعه قرار گرفته است، بخش ۳ به توصیف روش مدولاسیون کلیدها و مدار کنترل اینورتر اختصاص داده شده و در بخش ۴ نتایج شبیه سازی و در خاتمه در بخش ۵ نتیجه گیری ارائه گردیده است.

۲- ساختار اینورتر پیشنهادی

با توجه به این که در اغلب اینورترهای چند سطحی، تعداد زیادی از ادوات کلیدزنی (کلیدهای قابل کنترل و دیودها) استفاده می‌شود، هزینه و پیچیدگی سیستم را افزایش داده و موجب تولید تلفات و در نتیجه کاهش بازده اینورتر می‌شوند. کاهش تعداد این ادوات در یک اینورتر چندسطحی می‌تواند به سادگی ساختار و کاهش هزینه آن کمک کند. بنابراین به نظر می‌رسد ارائه ساختاری با تعداد کلیدهای نیمه‌هادی کم‌تر با حفظ کارایی سیستم مهم باشد.

ساختار یک فاز اینورتر چندسطحی پیشنهادی در شکل (۱) نشان داده شده است. این اینورتر از $(4n_d+1)$ کلید و n_d تعداد منبع ولتاژ DC مستقل با اندازه‌های نابرابر (نامتقارن) تشکیل شده است. تعداد سطوح ولتاژ خروجی یک فاز اینورتر وابسته به نحوه انتخاب اندازه منابع ولتاژ DC دارد. همان‌طوری که در شکل (۱) نشان داده شده است، اینورتر چند سطحی پیشنهادی از دو قسمت تشکیل شده است که شامل یک پل H تشکیل شده از کلیدهای S_1 تا S_4 است. این قسمت اینورتر از دو ساق با دو کلید در هر ساق تشکیل شده است به طوری که کلیدها در هر ساق به‌صورت متمم هم عمل می‌کنند و امکان روشن شدن هم‌زمان دو کلید یک ساق وجود ندارد. قسمت دیگر شامل کلیدهای S_{a0} تا S_{an} ، S_{b0} تا S_{bn} و S_{c0} تا S_{c2n+1} است که در شکل (۲) نشان داده شده است. این کلیدها، کلیدهایی هستند که منابع ولتاژ DC را به‌صورت سری- موازی به هم وصل می‌کنند. شکل (۳) مدار فرمان کلیدها و مسیر عبور جریان را برای اینورتر هفت سطحی پیشنهادی $(n_d=2)$ نشان می‌دهد.

۳-روش مدولاسیون کلیدها و مدار کنترل اینورتر

در این قسمت، روش مدولاسیون اینورتر پیشنهادی برای حالت هفت سطحی توضیح داده می‌شود. روش کنترلی برای ساختار اینورتر پیشنهادی بر پایه روش مقایسه شکل‌موج مرجع سینوسی با شکل‌موج خروجی است. برای تحلیل روش کنترلی ساختار فاز اینورتر هفت سطحی با دو منبع ولتاژ مطابق شکل (۴) در نظر گرفته شده است. ابتدا روش مدولاسیون کلیدهای قسمت منابع اینورتر چند سطحی توضیح داده می‌شوند. برای این کار، از یک شکل‌موج سینوسی مطابق شکل (۵) استفاده می‌شود. برای اعمال درست سیگنال‌های کلیدزنی، شناسایی زمان‌های t_0 تا t_5 ضروری است، که این کار با کمی تقریب قابل حصول می‌باشد. حال به‌کمک سیگنال رفرنس، برای اینورتر شکل (۴) زمان‌های t_0 تا t_5 به‌صورت زیر قابل محاسبه است:

$$0 \le ref \le 1 \Rightarrow 0 < t < t_0 \quad (۱)$$

$$1 \le ref \le 3 \Rightarrow t_0 < t < t_1 \quad (۲)$$

$$3 \le ref \le 5 \Rightarrow t_1 < t < t_2 \quad (۳)$$

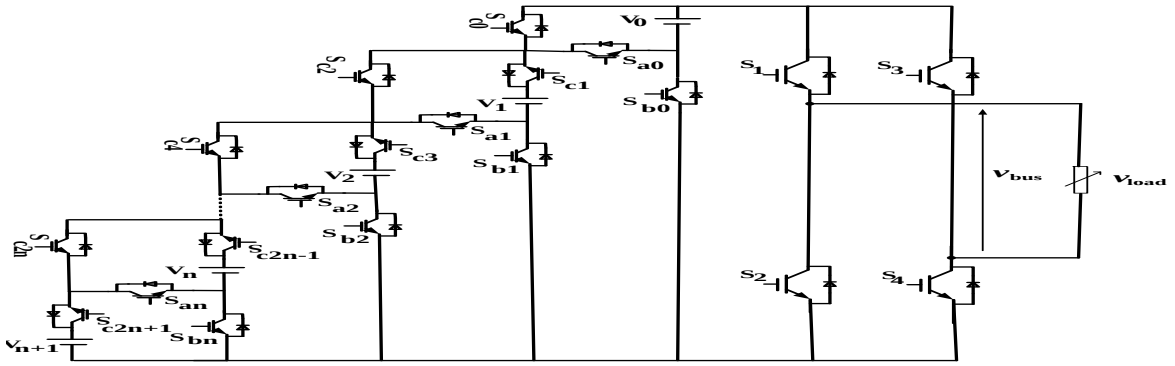
$$ref \ge 5 \Rightarrow t_2 < t < t_3 \quad (۴)$$

به‌کمک زمان‌های به‌دست آمده در روابط بالا، زمان‌های t_3 تا t_5 نیز قابل محاسبه هستند. به این ترتیب می‌توان سطوح ولتاژ مثبت $+V_{dc}$ را به‌دست آورد. به‌عنوان مثال، برای تولید سطح ولتاژ به‌صورت زیر عمل می‌شود:

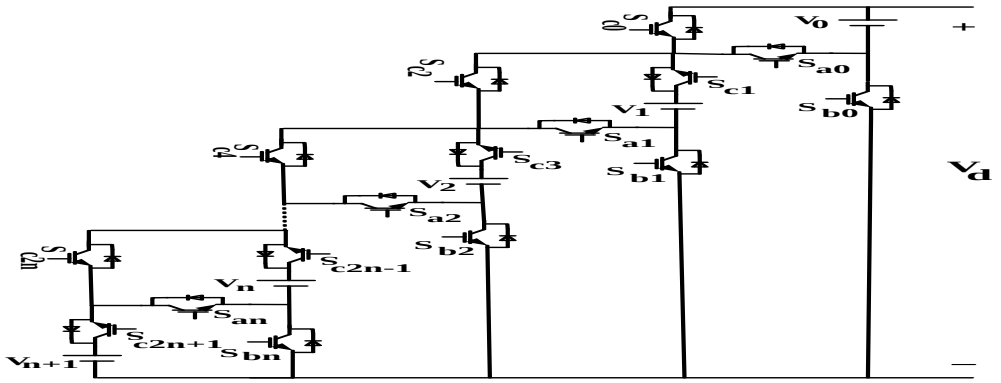
$$1 \le ref \le 3 \Rightarrow \begin{cases} S_{b0}=1 \\ S_{a0}=S_{c0}=S_{c1}=0 \end{cases} \quad (۵)$$

سیگنال‌های کلیدزنی کلیدهای قسمت H اینورتر نیز (کلیدهای S_1 تا S_4) از مقایسه سیگنال مرجع با سطح صفر به‌دست می‌آیند.

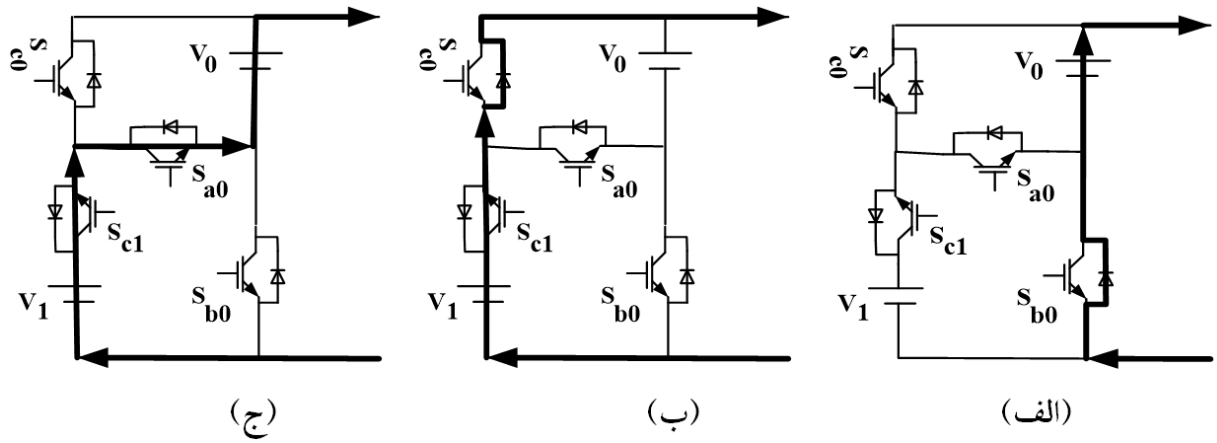
[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.8.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]



شکل (۱):ساختار یک‌فاز اینورتر چند سطحی پیشنهادی



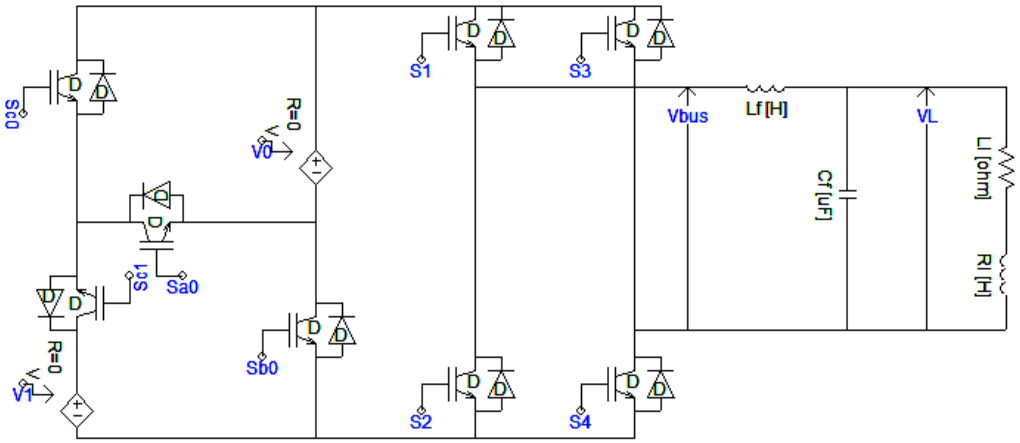
شکل (۲):ساختار طرف منابع ولتاژ یک‌فاز اینورتر چند سطحی پیشنهادی



شکل (۳):مسیر عبور جریان در اینورتر هفت سطحی، (الف) اتصال V_0 به خروجی، (ب) اتصال V_0 و V_1 به‌صورت سری ، (ج) اتصال V_1 به خروجی

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

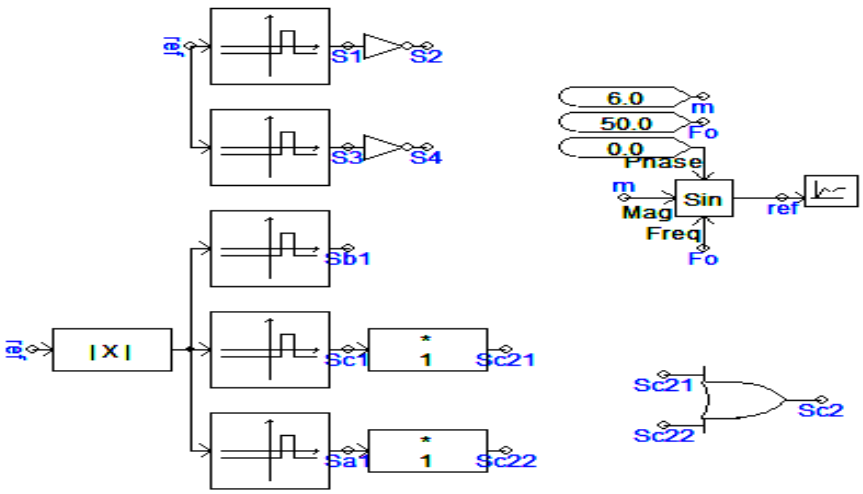
[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.8.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013



شکل (۴): ساختار هفت سطحی اینورتر پیشنهادی



شکل (۵): شکل‌موج سیگنال مرجع و ولتاژ خروجی هفت سطحی



شکل (۶): تحقق نرم‌افزاری سیستم کنترل پیشنهادی برای تولید ولتاژ هفت سطحی

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.8.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

$$ref \geq 0 \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} S_1 = S_4 = 1 \\ S_2 = S_3 = 0 \end{cases} \qquad (۶)$$

$$ref \leq 0 \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} S_1 = S_4 = 0 \\ S_2 = S_3 = 1 \end{cases} \qquad (۷)$$

به این ترتیب تمام سطوح ولتاژ مثبت و منفی در خروجی اینورتر پیشنهادی تولید می‌شوند. تحقق نرم‌افزاری معادلات بالا در شکل (۶) نشان داده شده است.

ساختار ارائه شده هم از نگرش ساختار و هم از نگرش سیستم کنترلی مبدل دارای شاخص‌های بهتری نسبت به اینورترهای مرسوم است. در ساختار ارائه شده، سعی شده که از المان‌های الکترونیک- قدرت و منابع انرژی کمتری استفاده شود که منجر به کاهش قیمت اینورتر می‌شود. از طرف دیگر، استفاده از سیستم کنترلی بهتر و انتخاب بهینه زوایای کلیدزنی در اینورتر ارائه شده هارمونیک‌های خروجی اینورتر را حذف یا کاهش داده است.

۴- نتایج شبیه سازی

در این قسمت نتایج شبیه‌سازی که توسط نرم‌افزار PSCAD/EMTDC ، بر روی اینورتر پیشنهادی در حالت‌های مختلف سطوح ولتاژ و انتخاب اندازه منابع ولتاژ DC صورت گرفته نشان داده شده است. در همه حالت‌ها شکل‌موج ولتاژ خروجی اینورتر و ولتاژ بار و هم‌چنین اعوجاج هارمونیکی کل بررسی شده است.

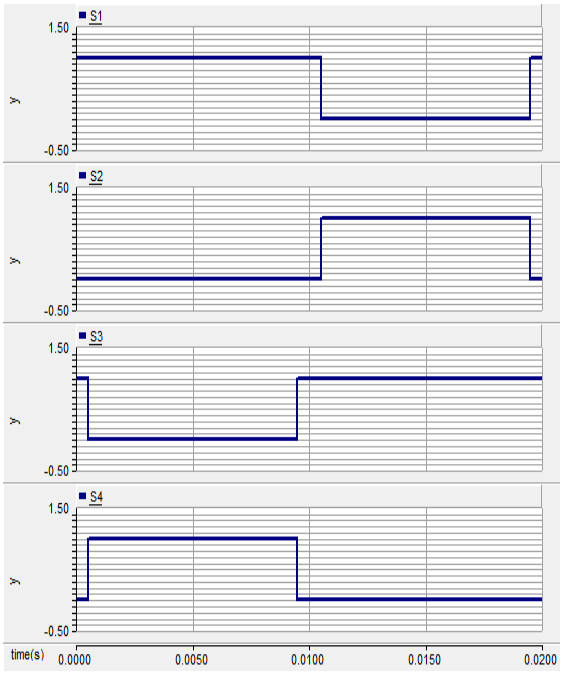
۴-۱- نتایج شبیه‌سازی برای حالت هفت سطحی

نتایج حاصل از ساختار هفت سطحی اینورتر پیشنهادی با دو منبع ولتاژ که در شکل (۴) نشان داده شد، در این قسمت نشان داده شده است. اندازه منابع ولتاژ DC مستقل ایده‌آل به‌صورت $V_0 = 5\,V$ و $V_1 = 10\,V$ انتخاب شده‌اند. باری که در خروجی اینورتر قرار داده شده یک بار اهمی- سلفی بوده و دارای مولفه اهمی ۲۰ اهم و سلفی یک میلی هانری است. برای مدولاسیون و انتخاب درست زوایای کلیدزنی کلیدها از یک سیگنال مرجع سینوسی با فرکانس، فاز و دامنه به‌ترتیب برابر با ۵۰ هرتز، صفر و ۶ استفاده شده است.

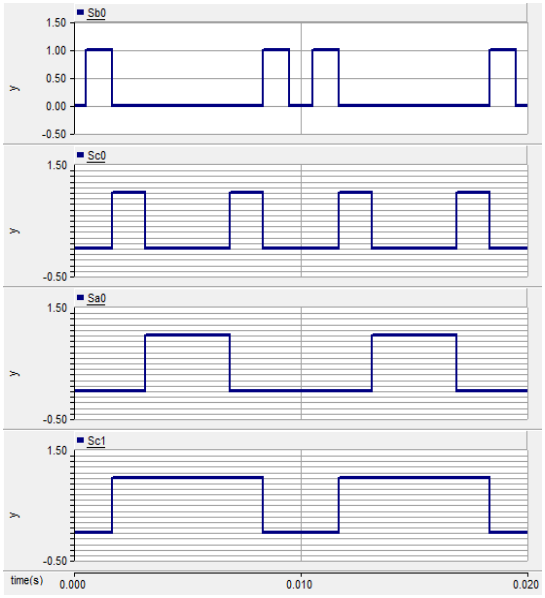
سیگنال‌های کلیدزنی که توسط سیستم کنترلی در یک دوره تناوب تولید می‌شود، برای کلیدهای اینورتر در شکل‌های (۷) و (۸) نشان داده شده‌اند. فرکانس کلیدزنی در سیستم کنترلی پیشنهادی برابر فرکانس سیگنال مرجع است که برابر ۵۰ هرتز می‌باشد. شکل‌موج‌های ولتاژ اینورتر و بار در شکل (۹) نشان داده شده است. طبق توضیحات فصل قبل، تعداد سطوح ولتاژ خروجی فاز اینورتر در این حالت برابر هفت است($4\times n_d -1= 7$). شکل‌موج جریان بار در شکل (۱۰) نشان داده شده است که به‌صورت شبه سینوسی است. به‌دلیل اهمی- سلفی بودن بار، جریان نسبت به ولتاژ خروجی اینورتر دارای پس‌فاز است. اندازه و فاز جریان بار از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$i_a = \frac{v_{an}}{R_L + jX_L} \qquad (۸)$$

که R_L مولفه اهمی بار و $X_L=L\omega$ راکتانس سلفی بار است.

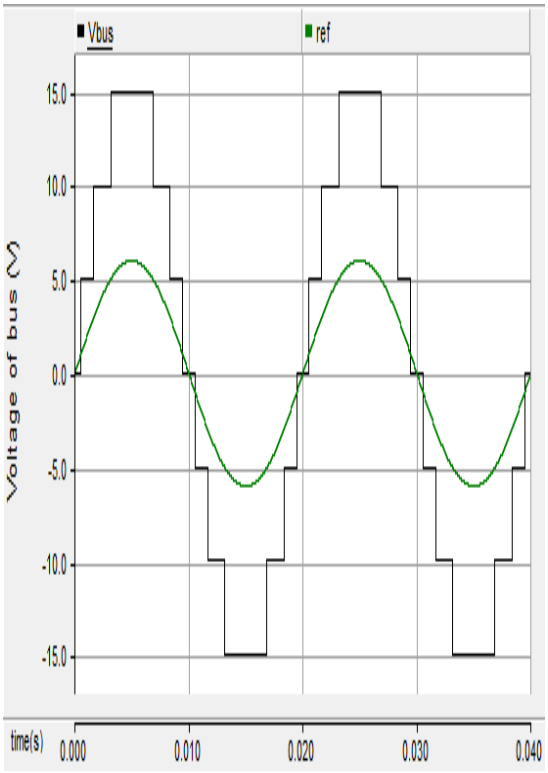


شکل (۷): سیگنال‌های کلیدزنی کلیدهای قسمت H اینورتر

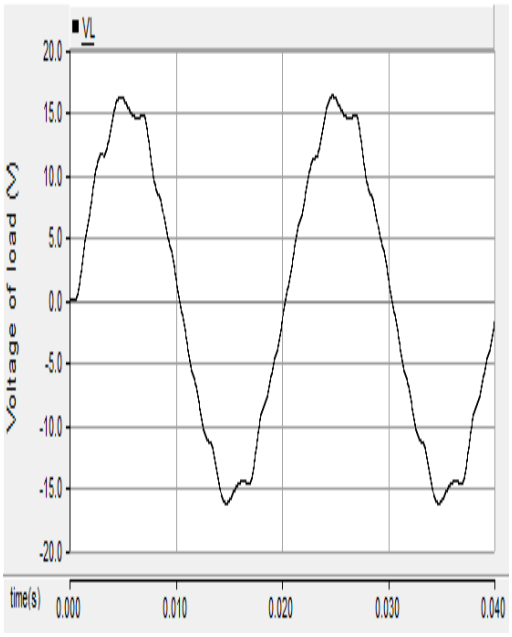


شکل (۸): سیگنال‌های کلیدزنی قسمت منابع اینورتر هفت سطحی

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.8.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

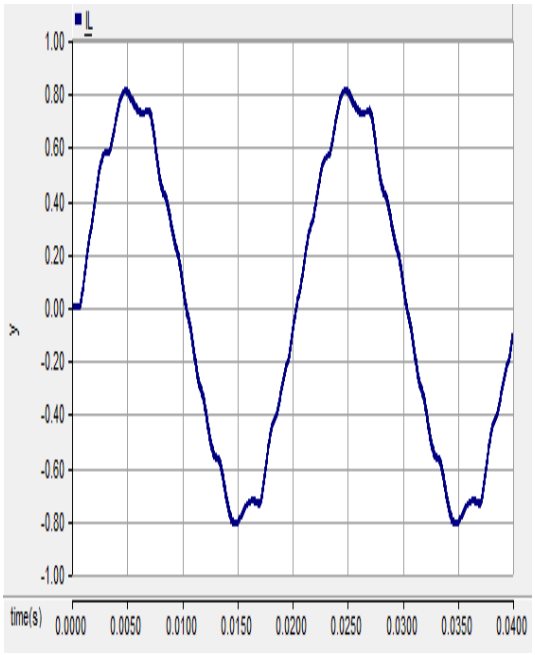


شکل (۹- الف)



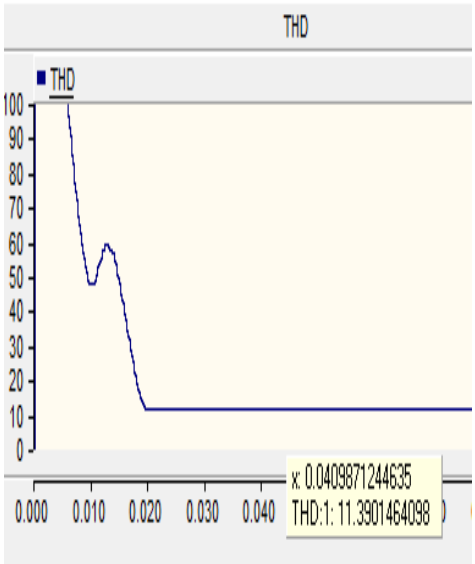
شکل (۹- ب)

شکل (۹): شکل‌موج‌های خروجی اینورتر هفت سطحی (الف) ولتاژ اینورتر، (ب) ولتاژ بار بعد از گذر از فیلتر



شکل (۱۰): شکل‌موج جریان بار در حالت هفت سطحی

اعوجاج هارمونیکی کل (THD) ولتاژ هفت سطحی خروجی در شکل(۱۱) نشان داده شده است که خروجی برابر ۱۱/۴۰ درصد می‌باشد.

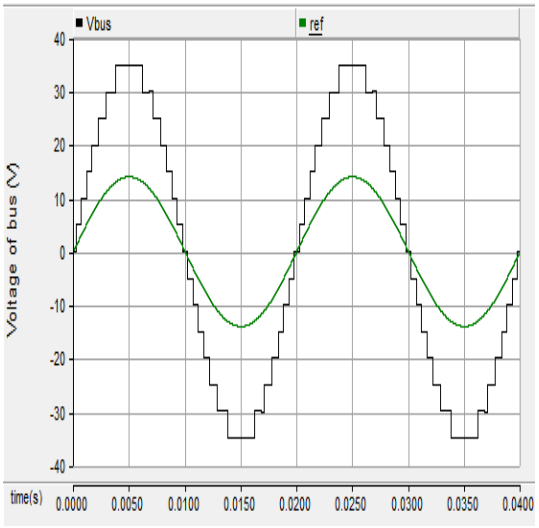


شکل (۱۱): اعوجاج هارمونیکی کل (THD) ولتاژ هفت سطحی خروجی

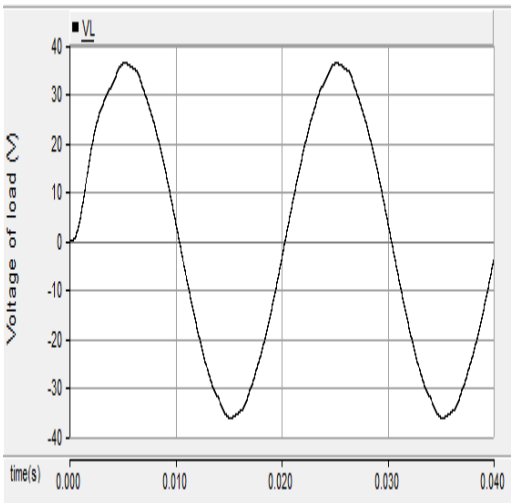
[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.8.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

۴-۲- نتایج شبیه‌سازی برای حالت پانزده سطحی

نتایج حاصل از ساختار یازده سطحی اینورتر پیشنهادی با سه منبع ولتاژ نامتقارن در شکل (۱۲) نشان داده شده است. اندازه منابع ولتاژ DC مستقل ایده‌آل به‌صورت $V_0 = 5\,V$ ، $V_1 = 10\,V$ و V_2=20V انتخاب شده‌اند. باری که در خروجی اینورتر قرار داده شده یک بار اهمی- سلفی بوده و دارای مولفه اهمی ۲۰ اهم و سلفی یک میلی هانری است. برای مدولاسیون و انتخاب درست زوایای کلیدزنی کلیدها از یک سیگنال مرجع سینوسی با فرکانس، فاز و دامنه به‌ترتیب برابر با ۵۰ هرتز، صفر و ۱۵ استفاده شده است

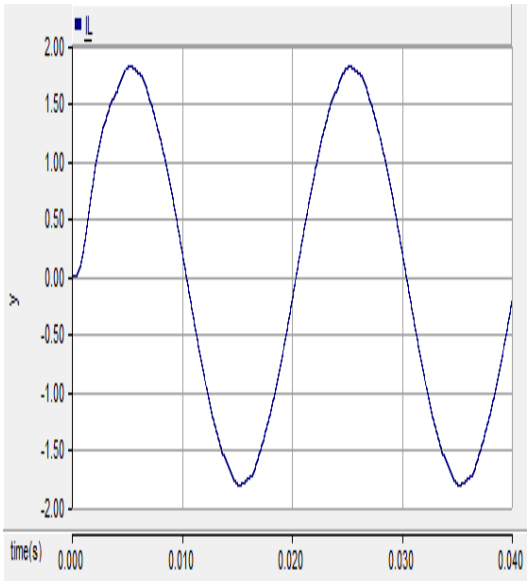


شکل (۱۲- الف)



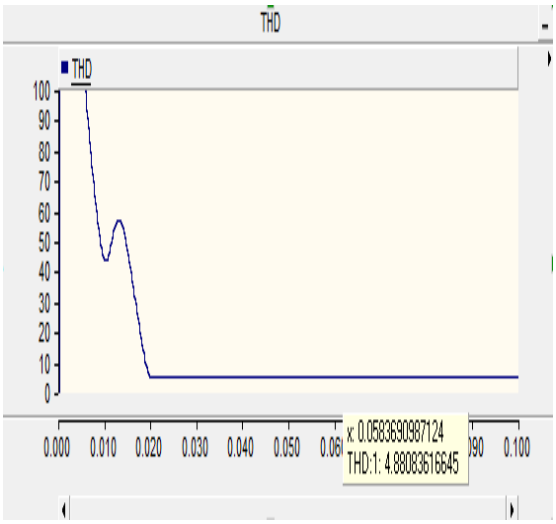
شکل (۱۲-ب)

شکل (۱۲): شکل‌موج‌های خروجی اینورتر پانزده سطحی (الف) ولتاژ اینورتر، (ب) ولتاژ بار بعد از گذر از فیلتر



شکل (۱۳): شکل‌موج جریان بار در حالت پانزده سطحی

اعوجاج هارمونیکی کل در شکل (۱۴) نشان داده شده است که در این حالت برابر ۴/۶۴ درصد بوده که نسبت به حالت هفت سطحی کم‌تر شده است.



شکل (۱۴): اعوجاج هارمونیکی کل در حالت ۱۵ سطحی

همان‌طوری که با نتایج شبیه‌سازی هم نشان داده شد، ساختار و استراتژی کنترلی پیشنهادی نتایج بهتری را نسبت به روش‌های کنترلی مرسوم دارد.

برای یک بار مثل محرکه‌های الکتریکی بیش‌تر از همه چیز شتاب و حرکت نرم آن ضروری است که با توجه به شکل موج‌های جریان فازها در اینورتر چندسطحی پیشنهادی، ریپل جریان فازها خیلی کم‌تر بوده و این موجب عملکرد بدون نویز صوتی و آرام محرکه

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.8.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

به‌عنوان بار خروجی اینورتر می‌شود. تعداد ادوات الکترونیک قدرت در اینورتر ارائه شده نسبت به ساختارهای مرسوم کم‌تر است که در کاهش اندازه و قیمت اینورتر نقش موثری دارد.

اعوجاج هارمونیکی کل به‌عنوان یک شاخص مهم در طراحی اینورتر و سیستم کنترلی آن در اینورتر پیشنهادی نسبت به توپولوژی‌های مرسوم کم‌تر است.

۵- نتیجه

اینورترهای چند سطحی یک توپولوژی الکترونیک قدرت مفیدی را برای محرکه موتورهای الکتریکی با توان و سرعت بالا ارائه کرده‌اند که دارای تداخل امواج الکترومغناطیسی پایین و بازده بالای کلیدزنی هستند. در این مقاله سعی شد که با کاهش تعداد کلیدهای نیمه هادی به‌کار رفته در مدار اینورتر چند سطحی از پیچیدگی و قیمت آن‌ها کاست و همچنین بازده سیستم اینورتر را بهبود داد. به منظور تایید عملکرد اینورتر چند سطحی پیشنهادی، از نظر ساختاری و هم از نظر سیستم کنترلی، شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار PSCAD/EMTDC بر روی اینورترهای هفت سطحی و پانزده سطحی انجام گرفت.

مراجع:

[1] C. Rech, J. R. Pinheiro, “Hybrid multilevel converters: Unified analysis and design considerations,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 54, no. 2, pp. 1092–1104, Apr. 2007.

[2] S. H. Hosseini, M. Ahmadi, S. Ghassem Zadeh, “Reducing the output harmonics of cascaded h-bridge multilevel inverter for electric vehicle applications,” The 8th Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI) Association, Thailand – Conference.

[3] A. J. Watson , P. W. Wheeler , J. C. Clare, “A complete harmonic elimination approach to DC link voltage balancing for a cascaded multilevel rectifier,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 54, no. 6, pp. 2946–2953, Dec. 2007.

[4] P. Lezana , C. A. Silva , J. Rodrguez , M. A. Prez, “Zero-steady-state- error input-current controller for regenerative multilevel converters based on single-phase cells,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 54, no. 2, pp. 733–740, Apr. 2007.

[5] Y. Xiaoming, I. Barbi, “Fundamentals of a new diode clamping multilevel Inverter,” IEEE Trans Power Electron 2000, vol. 15, No. 4, pp. 711–8.

[6] A. J. Watson , P. W. Wheeler , J. C. Clare, “A complete harmonic elimination approach to DC link voltage balancing for a cascaded multilevel rectifier,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 54, no. 6, pp. 2946–2953, Dec. 2007.

[7] J. Lai, F. Z. Peng, “Multilevel converter-a new breed of power converter,” IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 32. no. 3, pp. 509-517, 1996.

[8] G. B. Lee, H . J. Beukes , “A practical performance evaluation of the natural point clamped converter and the series - stacked converter topologies,” IEEE Industry Applications Conference , vol . 1 , pp 544 – 554 , October 2002.

[9] R. H. Wilkinson, “Natural balancing of multicell,” IEEE Transaction On Industrial Electronics, VOL. 21, NO. 6, Nomber 2006.

[10] H. P. Krug, T. Kume and M. Swam, “Neutral - point clamped three - level general purpose inverter - features, benefits and application,” IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp . 323 - 328, 2004.

[11] J. Huang, K. Corzine, “Extended operation of flying capacitor multilevel inverters,” IEEE Trans Power Electron 2006, vol. 21, no. 1, pp.140–7.

رزومه



روشنک رضائی پور در تبریز متولد شده است. تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی‌ارشد مهندسی برق - قدرت از دانشگاه علم و صنعت ایران و دکتری مهندسی برق-قدرت از دانشگاه علم و صنعت ایران سپری کرده است.فعالیت‌های پژوهشی و علاقه-مندی ایشان در زمینه ادوات FACTS، کیفیت توان، و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت است و در حال حاضر استادیار گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز می‌باشد.



مرتضی آهنگری حساس در تبریز متولد شده است. تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد واحد تبریز، سپری کرده و دانشجوی مقطع کارشناسی‌ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد:۱- علوم و تحقیقات آذربایجان‌شرقی۲- تبریز، می‌باشد. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه سیستم‌های ترکیبی مبتنی بر منابع تجدیدپذیر، مدیریت جریان انرژی بهینه، ادوات FACTS و کیفیت توان است.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.8.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013