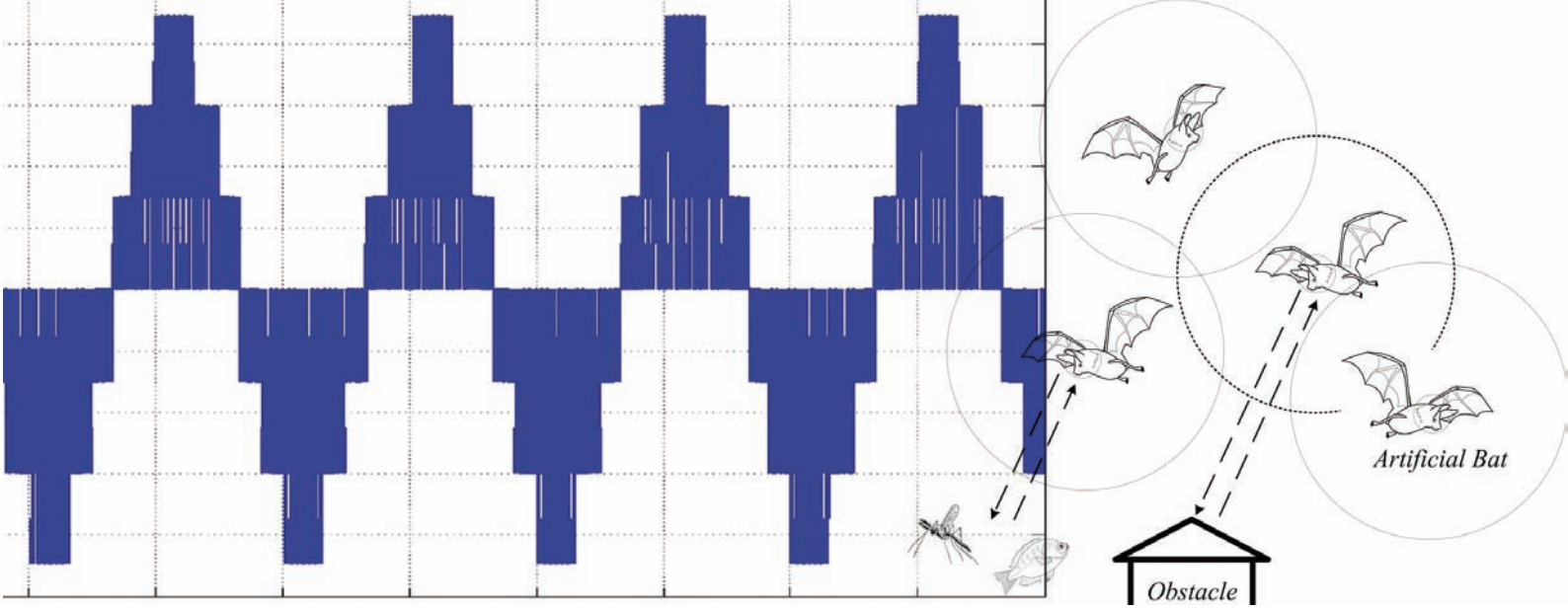


استفاده از الگوریتم خفاش
به‌منظور کاهش محتوای هارمونیکی کل در اینورتر چند سطحی

حمید رادمنش/ استادیار/ دانشکده مهندسی برق/ دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری تهران/ hamid.radmanesh@aut.ac.ir

سید یحیی دهقانی/دانشجوی کارشناسی ارشد/ دانشکده مهندسی برق/ دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان/ sydalask@gmail.com

رضا شریفی/ محقق پسادکتری/ دانشکده مهندسی برق/ دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران/ Reza.sharifi@aut.ac.ir

چکیده

در ایـن مقالـه از روش بهینه‌سـازی جدیدی که با الهام از الگوریتم حرکـت خفاش‌ها مبتنی بر انعکاس صدا ارایه شـده برای پیدا کردن زوایای آتش در اینورترهای چند سطحی منبع ولتاژ به‌منظور کاهش مقدار اعوجاج کلی هارمونیک (THD) استفاده شده است. در روش ارایه شـده زوایا باید طوری محاسـبه شـوند که دامنه ولتاژ فرکانس اصلی مورد نیاز را تولید نموده و در همین حال مقدار THD خروجی پایین باشد. این روش می‌تواند برای اینورتر چند سطحی همراه با هر تعداد از طبقه‌ها به کار رود. در این مقاله از نرم‌افزار MATLAB برای شبیه‌سـازی اینورتر ۷ سـطحی استفاده شده اسـت و زوایای کلیدزنی بهینه به‌صورت آفلاین محاسبه شده و در پایان نتایج بدست آمده روی یک DSTATCOM پیاده شـده اسـت. نتایج بدسـت آمده با نتایج الگوریتم زنبورعسـل که در یکی از مقالات معتبر ارایه شده است مقایسه شده و درستی عملکرد الگوریتم پیشنهادی را تأیید می‌کند.

کلمات کلیدی: الگوریتم خفاش، اینورترهای چند سطحی، محتوای هارمونیکی کل، فرکانس اصلی

Using Bat Algorithm to Reduce Total Harmonic Distortion in Multi-Level Inverter

Hamid Radmanesh/ Assistant Professor/ Department of Electrical Engineering/ Shahid Sattari Aeronautical University of Scienc and Technology/ Tehran Iran
hamid.radmanesh@aut.ac.ir

Seyed Yahya Dehghani/ MSC/ Electrical Engineering Department/ Islamic Azad University/ Hamedan Branch/ Hamedan, Iran/ sydalask@gmail.com

Reza Sharifi/ Post Doc Researcher/ Electrical Engineering Department/ Amirkabir University of Technology/ Tehran, Iran/ Reza.sharifi@aut.ac.ir

Abstract

Abstract: In this paper, a new optimization method is proposed that is inspired by bounce motion algorithm based on sound reflection to find the angles of fire in multi-level inverters of the voltage source to reduce the total harmonic distortion (THD). In the proposed method, the angles must be calculated so that the amplitude of the required main frequency voltage is generated and at the same time the output of the THD is low. This method can be used for multi-level inverters with any number of levels. In this paper, the 7-level inverter and optimum switching angles will be calculated as the plane and finally the results will be presented.

Keywords: Bat Algorithm, Multi-Level Inverters, Total Harmonic Content, Main Frequency

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-01]

۱- مقدمه

اینورترهای چند سطحی در حدود سه دهه پیش معرفی شده‌اند با این‌وجود باز هم موضوع بسیاری از تحقیقات و مقالات است و این تحقیقات گسترده، سبب به‌وجود آمدن ساختارها و کاربردهای متفاوتی برای آن‌ها شده است.

برای نخستین بار مفهوم اینورترهای چند سطحی با اینورتر سه سطحی آغاز شد، به‌مرور زمان چند ساختار در مورد آن مورد بررسی قرار گرفت و گسترش یافت. مفهوم ابتدایی یک اینورتر چند سطحی، استفاده از چند کلید نیمه‌هادی به‌صورت سری است که ولتاژ DC بین آن‌ها تقسیم می‌شود و از این‌رو سهم هر کلید سطح ولتاژ به نسبت پایین است. ولتاژ DC موردنظر را می‌توان توسط باتری، خازن، توربین‌های بادی و مزارع خورشیدی که آن‌ها نیز به‌صورت سری قرار دارند، تأمین نمود. به این سبب ولتاژ خروجی اینورتر که ناشی از کلیدزنی نیمه‌هادی‌ها است دارای سطح ولتاژ بالایی خواهد بود درحالی‌که کلیدها دارای ولتاژ منبع DC متصل به آن‌ها می‌باشند. بنابراین اینورترهای چند سطحی مشکل سطح ولتاژ بالا را حل می‌کنند.

مبدل‌های چند سطحی علاقه فراوانی را در سال‌های اخیر به خود جذب کرده‌اند و برای چندین کاربرد توان و ولتاژ بالا مانند محرکه‌های الکتریکی [۲-۱]، انرژی‌های تجدیدپذیر [۳] و جبران‌سازها [۵-۴] مطالعه شدند.

با افزایش تعداد سطوح ولتاژ در یک ساختار داده شده، شکل موج به سینوسی نزدیک‌تر و هارمونیک کمتری خواهد داشت[۶]. فرکانس کلیدزنی کم برابر با فرکانس مولفهٔ اصلی مدار باعث کاهش تلفات و افزایش بازده می‌شود. به‌خاطر کاهش فشار ولتاژ روی هر طبقه (کاهش dv/dt)، مشکلات سازگاری مغناطیسی که در محرکه‌های الکتریکی سبب بروز خرابی‌های زیادی می‌شود برطرف می‌شود [۷]. به‌علت تقسیم ولتاژ روی طبقات اینورتر چند سطحی، حذف ترانس ممکن می‌شود[۸]. ساختارهای اصلی اینورتر چند سطحی عبارت‌اند از اینورتر چند سطحی دیود مهارشده[۹]، اینورتر چند سطحی خازن شناور و اینورتر چند سطحی طبقه‌ای با منابع DC مجزا [۱۰].

از مهم‌ترین ساختارهای اینورترهای چند سطحی می‌توان به دیود کلمپ شده، خازن کلمپ شده یا خازن معلق و اینورتر با اینورتر پل H سری یا منابع DC مجزا اشاره نمود. اینورتر چند سطحی دیود مهارشده دارای دیودهای اضافی است. این‌ها نه‌تنها قیمت را افزایش می‌دهند بلکه باعث مشکلات بسته‌بندی و ایجاد اندوکتانس‌های پارازیتی می‌شوند. بنابراین تعداد سطوح ولتاژ آن‌ها ممکن است به ۷ یا ۹ محدود شود. از طرف دیگر اینورتر چند سطحی خازن شناور دارای خازن‌های شناور اضافی و هزینه بالا است. به‌علاوه کنترل بسیار پیچیده است و فرکانس کلیدزنی زیادی نیاز است تا ولتاژ هر خازن متعادل شود. ساختار سوم، مشکلات گفته شده را حل می‌کند. نیاز به دیودها و خازن‌های اضافی از بین می‌رود. همچنین ویژگی‌های زیر نیز قابل بیان هستند:

۱- بسیار مناسب برای کاربردهای توان و ولتاژ بالا است

۲- هر کلید فقط یک‌بار در دوره روشن و خاموش می‌شود و یک‌شکل موج پله‌ای را تولید می‌کند که با افزایش تعداد سطوح به شکل سینوسی شبیه می‌شود.

۳- بسته‌بندی به‌خاطر سادگی ساختار و تعداد مؤلفه‌های کم آسان است[۱۱].

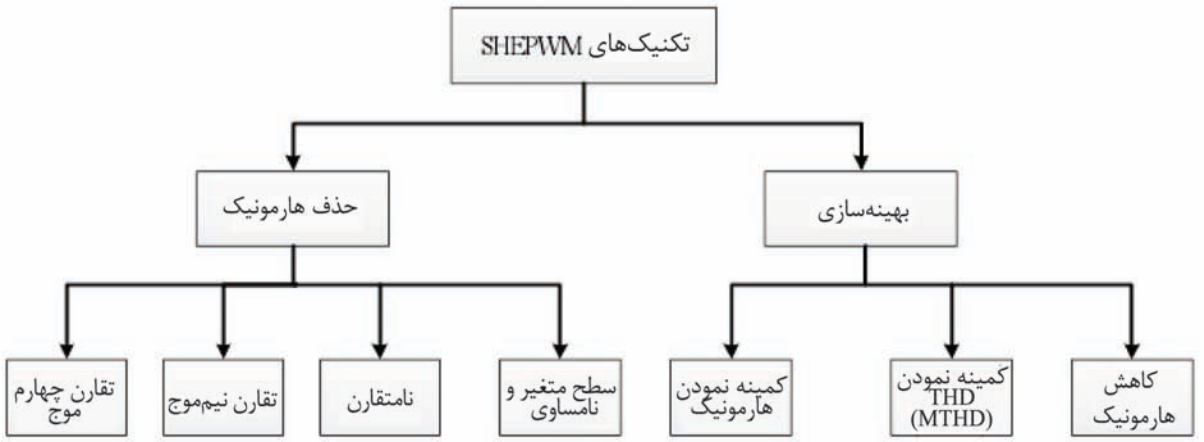
برای کلیدزنی اینورترهای چند سطحی، معمولاً از ۴ نوع کلیدزنی استفاده می‌شود که عبارت‌اند از مدولاسیون پهنای پالس سینوسی (SPWM)، مدولاسیون پهنای پالس هارمونیک انتخابی حذف شده (SHEPWM)، تکنیک شکل موج پله‌ای با هارمونیک بهینه شده (OHSW)[۱۲] و تکنیک مدولاسیون بردار فضایی (SVPWM)[۱۳]. از بین این کلیدزنی‌ها SPWM و SVPWM دارای فرکانس کلیدزنی بالاتری هستند و درنتیجه تلفات کلیدزنی بالا می‌رود. دو روش دیگر فرکانس کلیدزنی پایین‌تری دارند و می‌توان با آن‌ها هارمونیک‌های دلخواهی را حذف کرد.[۱۴] با روش SHEPWM نسبت به OHSW می‌توان هارمونیک‌های بیشتری را حذف کرد اما افزایش فرکانس کلیدزنی و تلفات را نسبت به OHSW به دنبال خواهد داشت. در حقیقت OHSW نوعی از کلیدزنی SHEPWM محسوب می‌شود. برای یافتن زوایای کلید زنی در SHEPWM روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است. در کل این روش‌ها به دو قسم تقسیم می‌شود: نخست روش‌های کلاسیک حل عددی و دوم روش‌های اکتشافی [۱۴]: روش‌های نخست که مبتنی بر حل عددی هستند، همچون نیوتون-رافسون [۱۵]، گاوس - نیوتن [۱۶] و تئوری Resaltant [۱۸-۱۷] و... می‌باشند که هرکدام دارای معایبی برای حل مسایل SHEPWM می‌باشند و در مرجع[۱۴] بررسی شده‌اند. روش‌های دوم که مبتنی بر بهینه‌سازی یک تابع هدف است، شامل روش‌هایی چون الگوریتم ژنتیک[۱۸]، الگوریتم اجتماع ذرات (PSO)[۱۴] ، الگوریتم قورباغه[۱۷]، الگوریتم زنبورعسل[۱۸] و... می‌باشند. روش جستجوی هارمونی(HS) یکی از روش‌های اکتشافی بر پایه کوک‌کردن ساز نوازندگان است و دارای مزایایی از قبیل شرایط ریاضی کمتر و سرعت زیاد است[۱۹]. این الگوریتم در اینورترهای چند سطحی برای کلید زنیOHSW به‌کاربرده شده است و قابلیت‌های خود را در حل این‌گونه مسایل نشان داده است[۲۰]. الگوریتم‌های حل ابتکاری و هوشمند مساله،که به نظر می‌آید حل مساله بر اساس الگوریتم ژنتیک و یا بر اساس الگوریتم ازدحام ذرات نتایج بهتری را به دنبال داشته باشد[۲۲-۲۱] اما در این پروژه نیز به‌خاطر مزایای الگوریتم خفاش، از آن برای حل مسایل هارمونیکی استفاده شده و نتایج آن با ژنتیک الگوریتم به‌عنوان مرسوم‌ترین روش اکتشافی مقایسه شده است.

در روش SHEPWM هدف آن است که تا آنجا که ممکن است دامنه هارمونیک‌ها برابر با صفر شود و درصورتی‌که امکان حل معادلات موجود نباشد هارمونیک‌ها تا حد ممکن کمینه شوند. در این روش می‌توان با n معادله تعداد n-۱ هارمونیک از مرتبه‌های پایین را صفر کرد. برای هر M خاص می‌توان از هارمونیک ۵ شروع کرده (هارمونیک ۳ و مضارب آن در سیستم سه فاز حذف می‌شوند) و تا حد ممکن هارمونیک‌های بالاتر را حذف کرد

چندین راه برای تعریف یک مساله SHEPWM وجود دارد که در شکل (۱) کلاس‌بندی آن نشان داده شده است [۲۳].

روشی که در این مقاله ارایه می‌شود بر پایه بهینه‌سازی و روش کمینه نمودن MTHD است. در این استراتژی هدف ایجاد تابع هدفی است که به دنبال کمینه نمودن THD در عوض حذف کامل آن‌ها است و همچنین مؤلفه اصلی فرکانس باید در مقدار مورد نیاز کنترل شود. در این روش تعداد هارمونیک‌هایی موردنظر محدودیتی مانند روش‌های دیگر که برابر با تعداد زوایای کلیدزنی است، ندارد. پس می‌توان گفت هدف در این مقاله محاسبه زوایای آتش به‌نحوی‌که دامنه ولتاژ، فرکانس اصلی موردنیاز را تولید کرده و درعین‌حال تا جای ممکن مقدار اعوجاج هارمونیک کلی ولتاژ خروجی پایین باشد.

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-01]



شکل ۱: تقسیم‌بندی تکنیک‌های SHEPWM

مشکلی کـه در اســـتفاده از تکنیک‌های SHEPWM وجود دارد این اســت که این روش نیـاز به حل یک ســری معادلات غیرخطی دارد. بـرای حـل ایـن معادلات از روش‌های مختلفی اسـتفاده شـده اسـت کـــه دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشـند. به‌طورکلی می‌توان روش‌های حل این دسته از مسایل را در شکل (۲) مشاهده نمود:

با مرور مقالاتی که در این زمینه انجام شده نشان می‌دهد که استفاده از الگوریتم‌های ابتـکاری برای حل معادلات پیچیده‌ای رو به افزایش بوده است[۲۴].

در مرجـع [۲۵]، از الگوریتمی به نـام Colonial Competitive برای کاهش هارمونیک در الگوریتم‌های چند سطحی استفاده نموده است.

در مرجع [۲۶] برای حذف هارمونیک‌های منتخب از الگوریتمی به نام memetic استفاده نموده است همچنین در مقاله [۲۷] نیز از الگوریتم bacterial foraging به‌منظور حذف هارمونیک‌های منتخب استفاده نموده اسـت. در مرجع [۲۸] از الگوریتمی بـه نام Parallel به‌منظور کاهش هارمونیک در اینورترهای چند سطحی استفاده نموده است.

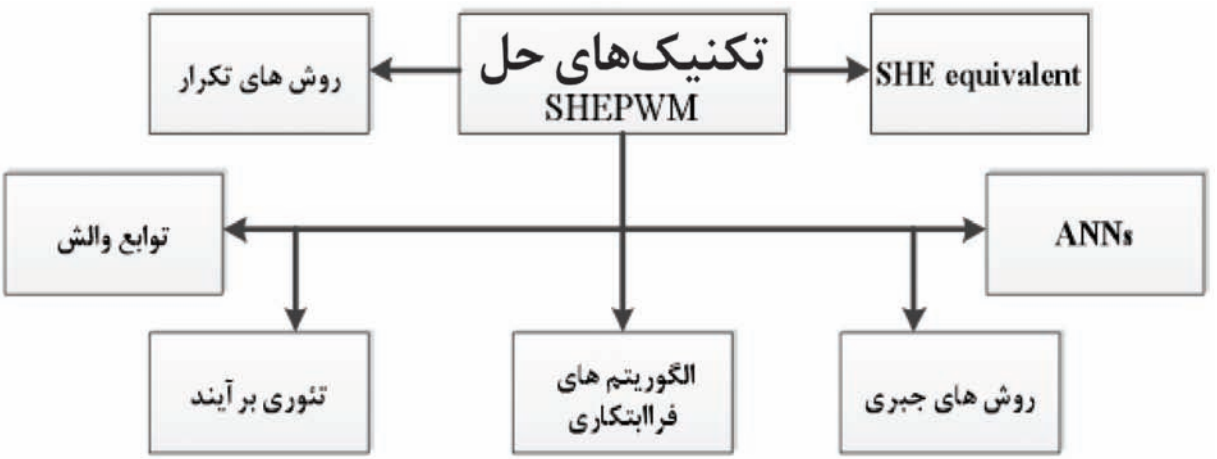
در مرجع [۲۹]، در یک اینورتر سه سطحی از الگوریتم ژنتیک به‌منظور حذف هارمونیک‌های منتخب اسـتفاده نموده است. در مراجع [۳۰] از الگوریتم PSO در یک اینورتر چند سـطحی که منابع DC ورودی آن‌ها دارای ولتاژهای متفاوتی اسـت برای کاهش اعوجاج هارمونیکی کل استفاده شده است.

مرجع [۳۱] از الگوریتم زنبورعسـل برای کاهش اعوجاج هارمونیکی کل استفاده نموده است. در مرجع [۳۲] از الگوریتم رقابت استعماری بـرای پیدا نمودن زوایـای کلیدزنی به‌منظور حـذف هارمونیک‌های مرتبه پایین استفاده نموده است.

در مراجع [۳۳] و [۳۴] از الگوریتم قورباغه برای حذف هارمونیک‌های منتخب با ارایه اسـتراتژی جدیدی پرداخته است. در مرجع [۳۵] در یک اینورتر سـیزده سـطحی از الگوریتم BBO/DS به‌منظور کاهش هارمونیک‌ها استفاده نموده است.

در مرجـع [۳۷-۳۶] از الگوریتـم جدیـدی به نـام الگوریتم خفاش اسـتفاده شده اسـت در مرجع [۳۸] از این الگوریتم به‌منظور حذف هارمونیک‌های انتخابی در اینورترهای چند سـطحی که دارای منابع ولتاژ DC ورودی با اندازه‌های مختلف هسـتند اسـتفاده شـده است.

در ایـن مقاله از ایـن الگوریتم به‌منظور کاهش اعوجـاج هارمونیکی کل در یک اینورتر هفت اسـتفاده شـده اسـت. در این مقاله از روش کمینه‌سـازی مقدار اعوجاج کلی هارمونیک (MTHD) ولتاژ خروجی اینورتـر به‌منظور کاهـش هارمونیک در یک اینورتر هفت سـطحی



شکل ۲: روش‌های حل مسایل تکنیک‌های SHEPWM

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-01]

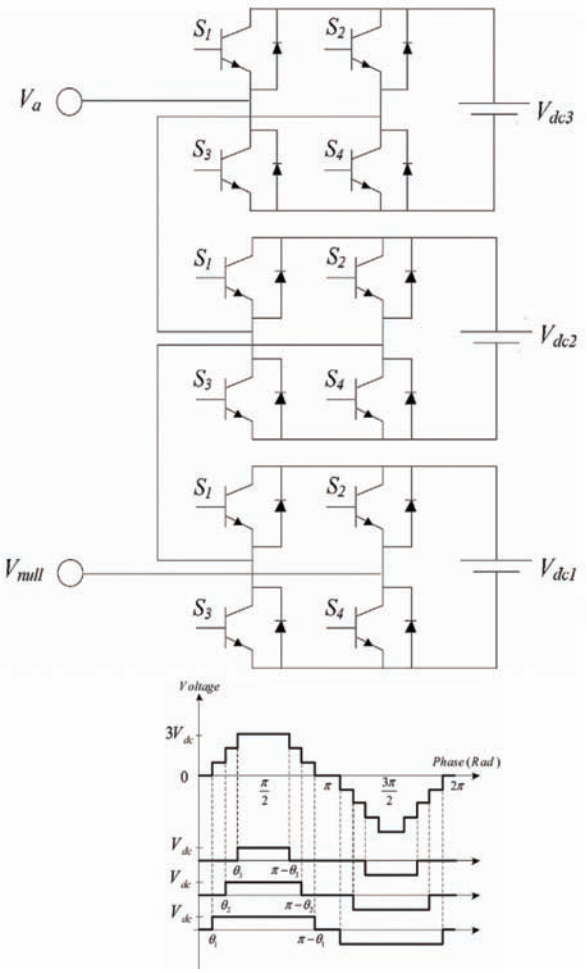
استفاده می‌شود.

۲- اینورترهای چند سطحی

این اینورترها از ترکیب سری اینورترهای تمام پل با منابع مجزای DC تشکیل شده‌اند. شکل موج خروجی آن‌ها، حاصل جمع شکل موج‌های حاصل از هر اینورتر تمام پل خواهد شد. شکل (۲) ساختار اینورتر پل H سری را نشان می‌دهد[۳۱].

در این روش، به ازای هر طبقه، یک پارامتر θ_i مربوط به زاویه کلیدزنی آن طبقه وجود دارد. در این روش می‌توان با توجه به روابط موجود با انتخاب صحیح این زوایای کلید موجب کاهش محتوای هارمونیکی کل THD شد.

هرکدام از این طبقات از یک منبع ولتاژ ایزوله به‌منظور تولید ولتاژ خروجی خود استفاده می‌کند. ولتاژ خروجی حاصل‌جمع تمام خروجی‌های ولتاژ است. هرکدام از طبقات قادر به تولید سه سطح ولتاژ Vdc+، Vdc-، و صفر است که به‌خوبی در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳: اینورتر هفت سطحی با شکل موج‌های خروجی

برای موج خروجی شکل (۳) می‌توان سری فوریه آن را به‌صورت زیر نوشت:

$$V_{phase}^{\omega t} = \sum_{n=1}^{\infty} V_n \sin(n\omega t) \qquad (۱)$$

با حل رابطه (۱) آنالیز سری فوریه بدست می‌آید:

$$V_n = \begin{cases} \frac{2\sqrt{2}}{n\pi}(\cos(n\alpha_1)+\cos(n\alpha_2)+\cos(n\alpha_3) & \text{for odd n} \\ 0 & \text{for even n} \end{cases} \qquad (۲)$$

که مقدار بیشینه رابطه (۲) برابر است با وقتی‌که تمامی زوایای کلید زنی مساوی صفر باشد:

$$V_1(\max) = \frac{6\sqrt{2}}{\pi} V_{dc} \qquad (۳)$$

که مقدار نرمالیزه رابطه (۴) بر اساس این مقدار :

$$V_n^{pu} = \frac{V_n}{V_1(\max)} = \frac{1}{3n}(\cos(n\alpha_1)+\cos(n\alpha_2)+\cos(n\alpha_3) \qquad (۴)$$

مقدار RMS موج شکل (۱) را محاسبه می‌نماییم:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{2}{\pi}\left\{\int_0^{\frac{\pi}{2}} v^2 d\omega t\right\}} = V_{dc}\sqrt{\frac{2}{\pi}((\alpha_2-\alpha_1)+4(\alpha_3-\alpha_2)+9(\frac{\pi}{2}-\alpha_3)} \qquad (۵)$$

که اگر این رابطه را نرمالیزه نماییم، خواهیم داشت:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{\pi}{36}((\alpha_2-\alpha_1)+4(\alpha_3-\alpha_2)+9(\frac{\pi}{2}-\alpha_3)} \qquad (۶)$$

در ادامه شاخصی تحت عنوان شاخص مدولاسیون تعریف می‌شود:

$$M = \frac{V_1}{12V_{dc}/\pi} \qquad (۷)$$

که M مقداری بین صفر تا یک اختیار می‌نماید. درصورتی‌که الگوریتم را به معادلات به ازای شاخص مدولاسیون‌های بین صفر تا یک اعمال کنیم، مقدار تابع هدف، درصد هارمونیک‌ها به مؤلفه اصلی، مقدار THD و زوایای جواب که در آن‌ها تابع هدف کمتر از ۰٫۰۱ شده است. با توجه به روابط ارایه شده در [۲۰]، مقدار THD ولتاژ فاز برابر با رابطه زیر خواهد بود:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2}}{V_1} = \sqrt{\left[\frac{V}{V_1}\right]^2 - 1} \qquad (۸)$$

با جایگذاری مقادیر معادل V_1 و V_2مبتنی بر تحلیل فوریه در عبارت فوق خواهیم داشت:

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-01]

$$THD=\sqrt{\left(\left[\frac{\pi}{4}\frac{\left[(\alpha_2-\alpha_1)+4(\alpha_3-\alpha_2)+9(\frac{\pi}{2}-\alpha_3)\right]}{(\cos\alpha_1+\cos\alpha_1+\cos\alpha_3)^2}\right]\right)-1} \quad (۹)$$

رابطه بالا نشـان‌دهنده مقدار THD با توجه به زوایای کلید زنی α_1 و α_2 و α_3 در یک اینورتر هفت سطحی است که از مرجع [۱۶] نتیجه شده است.

روش MTHD می‌توانـد برای حداقل کردن مقدار اعوجاج هارمونیکی کلی ولتاژ خروجی یک اینورتر هفت سـطحی در نظر گرفته استفاده شـود. در اینجا باید زوایای کلیدزنی طوری محاسـبه شـوند که اولاً دامنـه ولتـاژ فرکانس اصلی مـورد نیاز را تولید کـرده و درعین‌حال محتوای هارمونیکی کل تا جای ممکن کاهش یابد.

تابـع هدف همان‌گونه که در رابطه (۱۰) نیز مشـخص اسـت دارای دو ترم اسـت ترم اول، به‌منظور قرار دادن دامنه ولتاژ فرکانس اصلی موردنیاز در مقدار مطلوب اسـت. در صـورت فقدان این ترم اگر تابع هدف تنها شـامل THD باشد ممکن است که مقدار THD که توسط الگوریتم محاسـبه شده کم باشـد اما مقدار V1 از مقدار مطلوب دور می‌شود که مطلوب نیست.

۲-۱- تشکیل تابع هدف

در ایـن مرحله تابع هدف به‌منظور مینیمم کردن THD و قرار دادن مقدار مؤلفه اصلی برابر با مقدار مناسب تعیین می‌شود:

$$Objective\ Function: \min\left\{\left|v_1^{*}-v_1^{pu}\right|+THD\right\} \quad (۱۰)$$

کـه در آن v_1^{*} مقدار ولتـاژ مطلوب برای مؤلفه اصلی اسـت و V_1^{PU} به‌صورت زیر از قرار دادن n=1 در رابطه به دست می‌آید:

$$v_1^{pu}=\frac{1}{3}\left(\cos\alpha_1+\cos\alpha_2+\cos\alpha_3\right) \quad (۱۱)$$

مقدار $\left|v_1^{*}-v_1^{pu}\right|$ در تابع هدف، مقدار جریمه است، این کار به سبب آن اسـت که اگر تابع هدف تنها شـامل THD باشد ممکن که THD بسـیار کم شـود اما مقدار V1 از مقدار مطلوب دور می‌شود که اصلاً خوشایند نیست. در مقالات مختلف توابع جریمه‌های مختلفی تعریف شده است که در اینجا برای آن‌که حساسیت تابع هدف به این جریمه بیشـتر شـود مقدار جریمه را ده برابر می‌کنیم، از این‌رو رابطه (۱۱) به‌صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$Objective\ Function: \min\left\{10*\left|v_1^{*}-v_1^{pu}\right|+THD\right\}$$

البته در تابع هدف تعریف شـده در اینجا و فایل‌های برنامه‌نویسـی تفاوتـی وجود دارد کـه مربوط به حفـظ قید ترتیب انـدازه زوایای کلیدزنی است که این تفاوت با Vt نشان داده شده است.

۳-الگوریتم خفاش

خفاش‌ها جانوران شگفت‌انگیزی هستند. خفاش‌ها از توانایی انعکاس صـدا برخوردارند و هرکدام بسـته به شـرایط از درجـه خاصی برای انعکاس صدا استفاده می‌کنند. خفاش‌ها صداهای بلند تولید می‌کنند و بـه انعکاس آن در اطراف گوش می‌دهند. پالس صدای آن‌ها بسـته به شـرایط متفاوت اسـت و می‌تواند با نوع گونه و استراتژی شکار نیز در ارتباط باشـد. بسیاری از خفاش‌ها از سیگنال‌های متناسب و اندازه با آنچه از جای دیگر دریافت می‌کنند، اسـتفاده می‌کنند. درحالی‌که بیشـتر اوقات از سـیگنال‌ها بـا فرکانس ثابت بـرای انعکاس صدا در محیـط اسـتفاده می‌کنند. پهنای بانـد سـیگنال‌های آن‌ها متفاوت اسـت و به گونه آن‌ها نیز بسـتگی دارد و بیشتر در صورت استفاده از هارمونی‌های بیشتر افزایش می‌یابد[۳۹].

اگر ما برخی از ویژگی‌های مکان‌یابی خفاش‌های کوچک را به‌صورت ایده‌ال شناسایی کنیم، می‌توانیم الگوریتم‌های متفاوتی که برگرفته از خفاش است را ارایه دهیم. اکنون ما به‌سادگی از قواعد مشخص شده و تقریبی استفاده می‌کنیم:

۱- تمام خفاش‌ها از مکان‌یاب برای جهت و مسافت استفاده می‌کنند و همچنین تقریباً تفاوت بین طعمه و غذا و موانع دیگر را می‌دانند.

۲- خفاش‌ها به‌طور تصادفی، با سـرعت v_i در موقعیت x_i با یک فرکانـس ثابـت $f_{\min}$ و طول‌موج‌های مختلـف λ و بلندی صدا A_o به دنبال طعمـه پرواز می‌کنند. آن‌ها به‌طورخودکار می‌توانند طول‌موج یا پالس ساطع‌شـده از خـود را وقتی‌که $r\in[0,1]$ با توجه به نزدیکی به هدف تنظیم کنند.

۳- اگرچه بلندی صدا می‌تواند در بسـیاری روش‌ها متفاوت باشد ، ما فرض می‌کنیم که بلندی صوت از R_o تا $R_{\min}$ متغیر است.

طبق قوانین بیان‌شـده، مکان x_i^t و سـرعت v_i^t بـرای هر خفاش مجازی iام در تکرار t و همچنین فرکانس f_i به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

کـه در آن $\beta\in[0,1]$ یک بردار تصادفی با توزیع یکنواخت اسـت و x^{*} بهترین مکان فعلی است که در تکرار پس از مقایسه با موقعیت خفاش‌های مجـازی انتخاب می‌شـود. معمـولاً فرکانس $f_{\min}=0$ و $f_{\max}=100$ در نظر می‌گیرند. در هر تکرار، در جستجوی محلی یکی از جواب‌ها به‌عنوان بهترین جواب‌ها انتخاب‌شده و موقعیت جدید هر خفاش به‌طور محلی با گام تصادفی به‌صورت زیر به‌روز می‌شود.

$$f_i=f_{\min}+(f_{\max}-f_{\min})\beta \quad (۱۲)$$

$$v_i^t=v_i^{t-1}+(x_i^t-x^{*}) \quad (۱۳)$$

$$x_i^t=x_i^{t-1}+v_i^t \quad (۱۴)$$

که در آن $\varepsilon\in[-1,1]$ یک عدد تصادفی بوده و $A^t=<A_i^t>$ میانگیـن بلندی صدای خفاش‌ها در تکرار t اسـت. همچنین بلندی صدای A_i^t و نرخ پالس ارسـالی r در هر تکـرار به‌صورت زیر به‌روز می‌شود:

$$x_{new}=x_{old}+\in A^t \quad (۱۵)$$

کـه در آن α و γ مقدار ثابت می‌باشـند و برای هر $0<\alpha<1$ و $r>0$ وقتی t به سمت بی‌نهایت می‌رود، خواهیم داشت[۲۰]:

$$A^t=\alpha A_i^t,\ r_i^{t+1}=r_i^{*}[1-\exp(-\gamma t)] \quad (۱۶)$$

با توجه به توضیحات ارایه شـده در مـورد الگوریتم خفاش، می‌توان روال انجام محاسبات را به‌صورت زیر خلاصه نمود.

۱- جمعیت اولیه خفاش‌ها را $i=1,\dots,n, x_i$ ایجاد کنید.

۲- به ازای $i=1,\dots,n$ سرعت v_i فرکانس fi در xi، نرخ پالس ri، و بلندی صدای Ai را ایجاد کنید.

۳- قرار دهید t=۱.

۴- موقعیت‌ها را مقایسه کرده و جواب بهینه را بیابید.

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-01]

۵- موقعیت‌های جدید موقتی با تنظیم فرکانس و به‌روز کردن سرعت همه خفاش‌ها ایجاد کنید. (معادلات ۱۴-۱۲)

۶- اگر $rand > r_i$ آنگاه یک جواب در میان بهترین جواب‌ها با گام تصادفی انتخاب کرده و با استفاده از معادله (۱۵) یک جواب محلی در اطراف بهترین جواب انتخاب‌شده ایجاد کنید.

۷- یک جواب جدید با پرواز تصادفی تولید کنید.

۸- اگر $rand < A_i$ و $f(x_i) < f(x^*)$ آنگاه جواب‌های جدید را بپذیرید و طبق معادله (۱۷)، ri را افزایش و Ai را کاهش دهید.

۹- خفاش‌ها را مرتب کرده و بهترین جواب x^* را پیدا کنید.

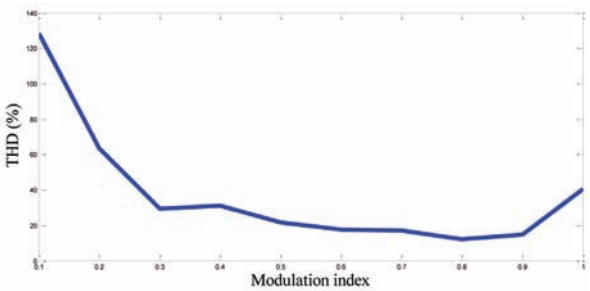
۱۰-اگر t به ماکزیمم مقدار خود رسید، الگوریتم را متوقف کرده در غیر این صورت قرار دهید $t = t+1$ و به مرحله ۴ بروید.

۴- شبیه‌سازی

همان‌طورکه پیش‌تر نشان داده شد در این مقاله از استراتژی خاصی برای پیدا نمودن زوایای کلیدزنی در اینورترهای چند سطحی استفاده شد. در این قسمت کد شبیه‌سازی برای مینیمم کردن تابع هدف معرفی‌شده در بخش (۲) با استفاده از الگوریتم خفاش انجام شده است. با استفاده از برنامه ارایه شده، نتایج جدول(۱) بدست می‌آید. با تغییر ضریب مدولاسیون M از مقدار اولیه ۰,۱ و گام ۰,۱ تا مقدار نهایی ۱ , مقادیر1α و 2α و 3α محاسبه شده توسط الگوریتم، در همین جدول نمایش داده شده است.

نتایج بدست آمده از این جدول برای درک بهتر در شکل (۴) تا (۶) نشان داده شده است. شکل (۳) تغییرات THD نسبت به تغییرات مدولاسیون در اینورتر هفت سطحی نشان می‌دهد و همان‌طورکه مشاهده می‌شود مقدار THD به ازای ضرایب مدولاسیون بالاتر به‌صورت عمومی کاهش می‌یابد. در شکل(۵) مقادیر زوایای کلیدزنی بهینه به ازای مقادیر مختلف ضریب مدولاسیون که به‌وسیله الگوریتم پیشنهادی محاسبه شده، نشان داده شده است.

در شکل (۶) مقدار مؤلفه اصلی بدست آمده در مقابل مقادیر ضرایب مختلف مدولاسیون اعمال شده، نشان داده شده است. تغییرات v_1^{pu} نسبت به تغییرات مدولاسیون به‌صورت یک خط با شیب m=1 است که این هدف ترم اول تابع هدف یعنی $\left|v_1^* - v_1^{pu}\right|$ را برآورده کرده، که این خود باز دلیلی دیگر بر کارآمدی این الگوریتم است.



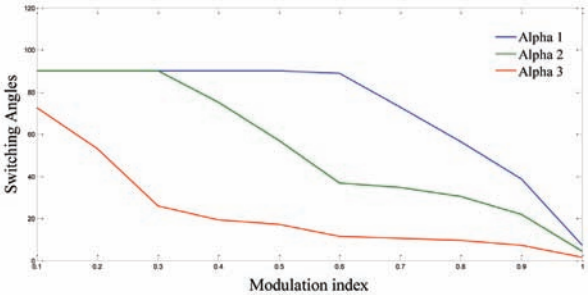
شکل ۴: تغییرات THD نسبت به تغییرات مدولاسیون (محور افقی) در اینورتر هفت سطحی

برای اینکه صحت نتایج اعتبارسنجی شود، نتایج با مراجع [۳۱] مقایسه شده که در یکی از معتبرترین ژورنال‌ها IEEE در سال ۲۰۱۲ به چاپ رسیده است، با مراجعه به این مرجع و مقایسه نتایج که در جدول (۲) آمده، به‌خوبی صحت روش ارایه شده در این مقاله اثبات می‌شود.

همان‌طور که در جدول مشخص است مقدار THD از مقدار ۱۲,۵۴٪ در مرجع [۳۱] به مقدار ۱۲,۲۸٪ در این مقاله رسیده است. اما میزان ولتاژ فرکانس اصلی تغییر خاصی نکرده است.

همچنین از مرجع [۳۱] آورده شده است که روند تغییرات زوایای کلید زنی مشابه با این مقاله است که به‌خوبی صحت نتایج را نشان می‌دهد.

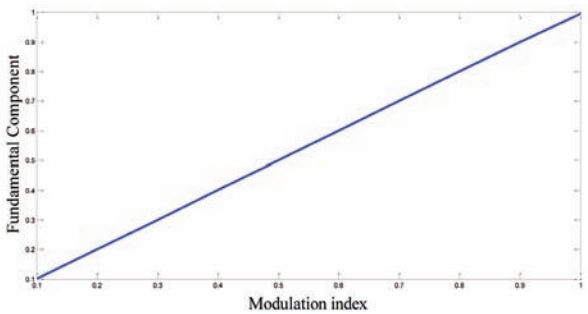
همچنین تغییر زوایای کلید زنی نسبت به تغییرات مدولاسیون در شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل ۵: نمایش زوایای کلیدزنی بهینه (محور عمودی) به ازای ضرایب مدولاسیون مختلف (محور افقی)

جدول ۱: نتایج حاصله از الگوریتم خفاش به ازای ضرایب مدولاسیون مختلف برای اینورتر هفت سطحی

M	v_1^{pu}	$\left\|v_1^* - v_1^{pu}\right\|$ %	α1	2α	α3	THD٪
۰.۱	۰.۱۰۰۵	۰.۰۵	۷۲.۴۵	۹۰	۹۰	۱۲۸.۲۸
۰.۲۰	۰.۲۰۰۰۹	۰.۰۰۹	۵۳.۱۱	۹۰	۹۰	۶۳.۵۰
۰.۳۰	۰.۳۰۰۰۸	۰.۰۰۸	۲۵.۸۱	۹۰	۹۰	۲۹.۲۷
۰.۴۰	۰.۴۰۰۰۶	۰.۰۰۶	۱۹.۳۷	۷۵.۱۲	۹۰	۳۱.۱۳
۰.۵۰	۰.۵۰۰۰۹	۰.۰۰۹	۱۷.۱۰	۵۷.۰۱	۹۰	۲۱.۶۰
۰.۶۰	۰.۶۰۰۰۶	۰.۰۰۶	۱۱.۵۲	۳۶.۷۱	۸۸.۹۳	۱۷.۵۵
۰.۷	۰.۷۰۰۰۷	۰.۰۰۷	۱۰.۵۲	۳۴.۷	۷۲.۸۵	۱۷.۰۴
۰.۸	۰.۸۰۰۰۵	۰.۰۰۵	۹.۶۴	۳۰.۳۷	۵۶.۵۳	۱۲.۲۸
۰.۹۰	۰.۹۰۰۰	۰	۷.۲۹	۲۲.۰۱	۳۸.۶۵	۱۴.۷۷
۱	۰.۹۹۶۲۹	۰.۳۷	۱.۴۴	۴.۳۳	۷.۲۳	۴۰.۶۵

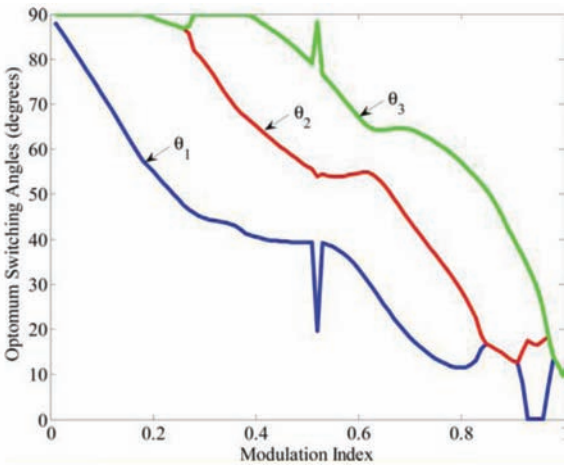


شکل ۶: تغییرات v_1^{pu} (محور عمودی) نسبت به تغییرات مدولاسیون (محور افقی) در اینورتر هفت سطحی

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-01]

جدول ۲: جدول۵-۲ مقایسه عملکرد الگوریتم خفاش در کاهش THD نسبت به مرجع [۳۱]

ضریب مدولاسیون	مقایسه	α۱	α۲	α۳	THD	V_1^{pu}
۰.۸	خفاش	۹.٦٤	۳۰.۳۷	٥٦.٥۳	۲۸٦۷٥/۱۲	۰.۸۰۰۰٥۳
	مرجع[۳۲]	۱۱.٥۰	۲۸.۷۱	٥۷.۱۰	۱۲.٥٤	۰.۸۰۰۰٥٤



شکل ۷: تغییرات زوایای کلید زنی نسبت به تغییرات مدولاسیون

در محاسبه ریپل کافی است برای یک فاز بر اساس جریان فاز ورودی مقدار ریپل محاسبه گردد. همچنین فرض می‌شود جریان به‌صورت سینوسی با بیشترین مقدار خود و بدون هارمونیک و با زاویه ۹۰ درجه پس فاز یا پیش فاز است. علاوه بر آن فرض می‌شود که خازن همواره در مدار است و جریان سینوسی همواره در حال عبور از خازن است در حقیقت بدترین حالت ممکن برای نوسان ولتاژ خازن در نظر گرفته شده است.

جدول (۳) حذف هارمونیک را برای دو الگوریتم و برای اجرای یک‌بار و ده بار الگوریتم‌ها نشان می‌دهد. توجه کنید که در اجرای ده‌باره، درنهایت بهترین جواب‌ها انتخاب می‌شوند. همان‌طور که در جدول (۳) نشان داده شده است، احتمال رسیدن به جواب با الگوریتم خفاش کمی بهتر از ژنتیک است و همچنین افزایش تعداد اجرای الگوریتم تأثیر فراوانی در هر دو الگوریتم ندارد.

جدول ۳: حذف هارمونیک برحسب درصد برای اجرای یک‌بار و ده‌باره دو الگوریتم خفاش و ژنتیک

نوع شکل موج	اجرای یک‌بار		اجرای ده بار	
	ژنتیک	خفاش	ژنتیک	خفاش
حذف هارمونیک ۵	۶۷	۶۷	۶۷	۶۷
حذف هارمونیک ۵، ۷ و ۱۱	۴۰	۳۹	۴۱	۴۲
حذف هارمونیک ۵، ۷ و ۱۱(حالت دوم)	۱۷	۲۴	۲۱	۲۴
حذف هارمونیک ۵، ۷، ۱۱و۱۳	۱۶	۱۸	۱۸	۲۰
حذف هارمونیک ۵، ۷، ۱۱ ، ۱۳ و ۱۷	۳۱	۳۲	۳۱	۳۲

بهمت استخراج نتایج موردبررسی در این مقاله، یک سیستم DSTAT-COM برای تزریق پنج کیلو وار به یک شبکه توزیع ۳۸۰ ولتی در نظر گرفته شد که اینورتر موردبحث و روش کنترل هارمونیک در آن استفاده شده است. در این بخش شبیه‌سازی این سیستم در محیط MATLAB/Simulink انجام شد و قسمت‌های مختلف سیستم در این محیط مدل شدند. در این محیط به بررسی هارمونیک‌های شکل موج ولتاژ فاز و خط و جریان خط در حالات مختلف تزریق توان راکتیو پرداخته می‌شود. به‌منظور یافتن شکل موج‌های ایده آل، سوییچ‌ها ایده آل فرض می‌شوند ولی تلفات کلیدزنی به‌صورت مقاومتی سری با اندوکتانس کوپلینگ در نظر گرفته شده است. در سیستم کلیدزنی مقادیر مرجع لازم که توسط کنترلر تولید می‌شوند به سیگنال‌های کلیدزنی (Si) تبدیل می‌شوند. در این سیستم ابتدا باید سیگنال‌های مرجع به ضریب مدولاسیون(M) و فاز(δ) تبدیل شوند، سپس از روی ضریب مدولاسیون زوایای کلیدزنی یافته شوند و این زوایا با δ جمع شده و سیگنال‌های کلیدزنی را می‌سازند.

ررای شبیه‌سازی حالت دایم سیستم، ۲ حالت کاری برای DSTAT-COM در نظر گرفته می‌شود. اولین حالت تزریق ۵۰۰۰ وار(حالت کاپاسیتیو) و دومین حالت کشیدن ۵۰۰۰ وار از شبکه(حالت اندوکتیو) است.

در حالت کاپاسیتیو هدف تزریق پنج کیلووار به شبکه است. شکل (۸) شکل موج ولتاژ فازهای خروجی اینورتر را نشان می‌دهد. شکل‌ها دارای ۶ زاویه کلیدزنی در هر ربع سیکل هستند. علاوه بر آن شکل‌ها دارای اندکی اعوجاج در سطوح هستند. این به خاطر خاصیت ذاتی DSTATCOM است که خازن طرف DC در ربع سیکل شارژ و در ربع سیکل بعدی دشارژ می‌شود و یک نوع تحدب در سطوح DC در حالت خازنی DSTATCOM ایجاد می‌کند.

در حالت اندوکتیو هدف جذب پنج کیلو وار از شبکه است. شکل (۹) شکل موج ولتاژهای فازهای خروجی اینورتر را نشان می‌دهد. شکل‌ها همانند حالت قبل دارای ۶ زاویه کلید زنی در هر ربع سیکل و اندکی اعوجاج در سطوح هستند. همان‌طور که گفته شد، این به خاطر خاصیت ذاتی DSTATCOM است که خازن طرف DC در ربع سیکل شارژ و در ربع سیکل بعدی دشارژ می‌شود و یک نوع تقعر در سطوح DC در حالت خازنی DSTATCOM ایجاد می‌کند. تفاوت در حالت به خاطر اختلاف‌فاز جریان‌ها در دو حالت کاپاسیتیو و اندوکتیو است. در حالت کاپاسیتیو در ربع سیکل اول خازن شارژ و در ربع سیکل بعدی دشارژ می‌شود، اما در حالت اندوکتیو خازن در ربع سیکل اول دشارژ و در ربع سیکل دوم شارژ می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

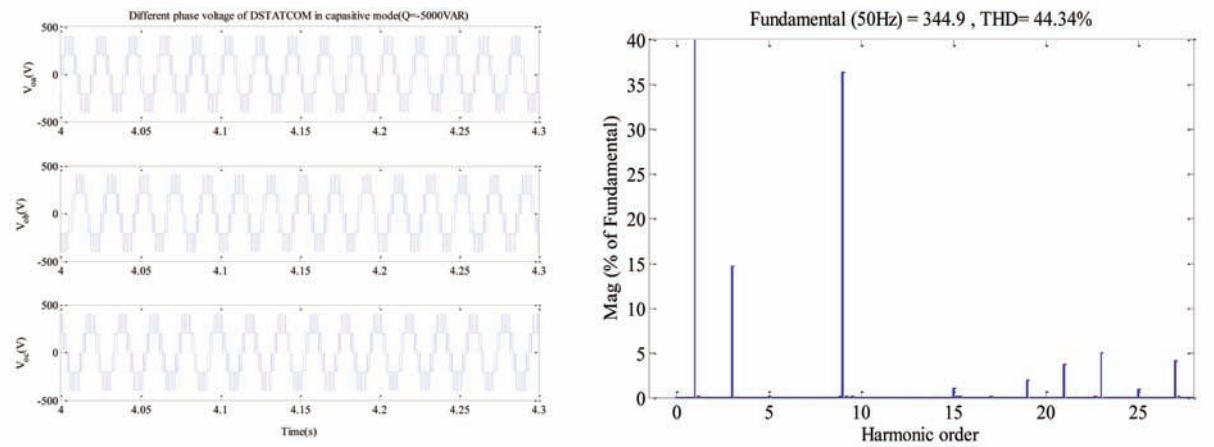
این مقاله روش جدیدی برای پیدا کردن زوایای آتش در مبدل‌های چند سطحی منبع ولتاژ، به‌منظور حذف هارمونیک‌های مشخص شده و کاهش مقدار اعوجاج کلی هارمونیک (THD) ولتاژ خروجی مبدل، با استفاده از روش بهینه‌سازی جدیدی که با الهام از الگوریتم حرکت خفاش‌ها مبتنی بر انعکاس صدا ارایه شده معرفی می‌کند. همان‌طورکه از نتایج مشخص است زوایای به دست آمده از الگوریتم ارایه شده به‌خوبی مقدار THD را کاهش داده است و همچنین مؤلفه اصلی ولتاژ را در مقدار دلخواه تنظیم نموده است که این نشان‌دهنده کارایی و قدرت این الگوریتم است.

۶- مراجع

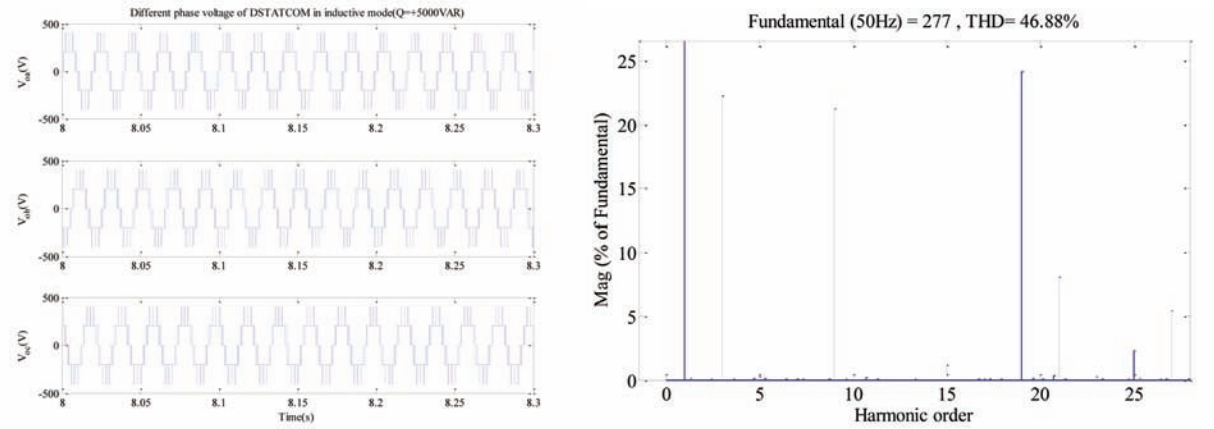
[1]Carrasco J.M. Franquelo L.G. Bialasiewicz J.T. Galvan E. PortilloGuisado R.C. Prats M.A.M. Leon J.I. Moreno-Alfonso N. "Power-electronic systems for the grid integration of renewable energy sources: a survey" IEEE Transaction on Industrial Electronics, Volume 53, June 2006 Page(s):1002 – 1016

[2] Shukla A. Ghosh A. Joshi A. "State feedback control of multilevel inverters for DSTATCOM applications" IEEE Transactions on Power

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-01]



شکل ۸: شکل موج فاز خروجی در حالت کاپاسیتیو و ضرایب هارمونیکی آن



شکل۹: شکل موج فاز خروجی در حالت اندوکتیو و ضرایب هارمونیکی آن

Delivery, Volume 22, Issue 4, Oct. 2007 Page(s):2409 – 2418

[3]H. R. Toodeji, N. Farokhnia, S. M. Ale Emran, H. Askarian Abyaneh,, S.H. Fathi; "Voltage Sag and Unbalance Mitigation in Distribution Systems Using Multi-level UPQC", Accepted in International Conference On Modelling And Simulation, MS'07, December 3-5, 2007 Kolkata, India

[4]Rodriguez, J.; Jih-Sheng Lai; Fang Zheng Peng " Multilevel inverters: a survey of topologies, controls, and applications" IEEE Transactions on Industrial Electronics, Volume 49, Issue 4, Aug 2002 Page(s): 724 – 738

[5]Al-Othman A.K. and Abdelhamid T. H. "Elimination of harmonics in multilevel inverters with non-equal dc sources using PSO" Elsevier Science, Energy Conversion and Management, (2008), doi: 10.1016/j.enconman.2008.09.047

[6]Fang Zheng Peng; Jih-Sheng Lai; McKeever, J.W.; VanCoevering, J. "A multilevel voltage-source inverter with separate DC sources for static VAr generation" IEEE Transactions on Industry Applications, Volume 32, Issue 5, Sep/Oct 1996 Page(s):1130 – 1138

[7]A. Nabae, I. Takahashi, H. Agaki, "A New Neutral-Point-Clamped PWM, Inverter," IEEE Transactions on Industry Applications. Vol.IA-17, No.5, Sep./Oct., 1981, pp.518-523.

[8]F. Z. Peng, J-S Lai, "Multilevel Converters – A New Breed of Power Converters" IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.32, No.3, May/June, 1996, pp.509-517.

[9]Sirisukprasert S. "Optimized harmonic stepped-waveform for multilevel Inverter" M.Sc. thesis, Department of Electrical and Computer Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University (Virginia Tech), September 1999, Available online at http://www.worldcatlibraries.org.

[10]Lopez, O. ; Alvarez, J. ; Doval-Gandoy, J. ; Freijedo, F.D. "Multilevel Multiphase Space Vector PWM Algorithm" Industrial Electronics, IEEE Transactions on2008 Volume : 55 , Issue:5 On page(s): 1933 – 1942

[11]A. Kashefi Kaviani, S.H. Fathi, N. Farokhnia, A. Jahanbani Ardakani "PSO, an Effective Tool for Harmonics Elimination and Optimization in Multi-level Inverters Industrial Electronics and Applications, 2009. ICIEA 2009. 4th IEEE Conference on

[12]Jeevananthan S. "Evolutionary Computing Based Area Integration PWM Technique for Multilevel Inverters. Journal of Electrical Systems" Vol. 3, 2007, Page(s): 61-72.

[13]Tianhao Tang, Jingang Han, Xinyuan Tan. "Selective Harmonic Elimination for a Cascade Multilevel Inverter" 2006 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Vol. 2, July 2006 Page(s): 977–981

[14]Chiasson J.N, Tolbert L.M, McKenzie K.J, Zhong Du. "Elimination of harmonics in a multilevel converter using the theory of symmetric polynomials and resultants" IEEE Transactions on Control Systems Technology, Volume 13, Issue 2, Mar 2005 Page(s): 216 – 223.

[15]Zhong Du, Tolbert L.M, Chiasson J.N, Ozpineci B. "Reduced Switching-Frequency Active Harmonic Elimination for Multilevel Converters" IEEE Transactions on Industrial Electronics, Volume 55, Issue 4, April 2008 Page(s): 1761-1770.

[16]Ozpineci B, Tolbert L.M, Chiasson J.N. "Harmonic optimization of multilevel converters using genetic algorithms" IEEE Power Electronics Letters, Volume 3, Issue 3, Sept. 2005 Page(s): 92–95.

[16]R. Salehi, N. Farokhnia, M. Abedi, Harmonic Elimination and Optimization of Stepped Voltage of Multilevel Inverter by Bacterial Foraging Algorithm, Journal of Electrical Engineering & Technology, Vol. 5, No. 4, pp.545-55, 2010

[17]Kavousi, A.; Vahidi, B.; Salehi, R.; Bakhshi Zadeh, M.K.; Farokhnia, N.; Fathi, S.H, "Application of Bee algorithm in multilevel inverter using selective harmonic elimination" IEEE Transactions on Power Electronics

[18]Geem,Zong W" .Harmony search algorithms for structural design optimization1 ".st ed .Berlin :Springer.2009 ,

[19]Majidi ,B .Baghaee ,H .R .Gharehpetian ,G .B .Milimonfared ,J. Mirsalim ,M" .Harmonic Optimization in Multi-Level Inverters using Harmony Search Algorithm2 ."nd IEEE International Conference on Power and Energy) PECon ,(08 December ,2008 ,1-3 Johor Baharu, Malaysia

[۲۰] زنگانــه علی‌اصغر،زنگانــه محســن،«تعیین بهینه زوایای کلید زنــی در اینورتر هــای منبــع ولتاژ چنــد ســطحی باهدف کاهــش اعوجــاج هارمونیکــی کل با

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-01]

ادامه از صفحه ۲۳

سیستم‌های نانورباتیک پرداختیم و روش‌های جدیدی را برای طراحی نانوربات‌های زیستی ارایه نمودیم که این روش‌ها بر اساس عملکرد المان‌های زیستی در شرایط و محیط‌های عملیاتی مختلف صورت می‌پذیرد.

۸- مراجع

[1] Farazkish, R., Sayedsalehi, S., and Navi, K. “Novel design for quantum dots cellular automata to obtain fault-tolerant majority gate”, Journal of Nanotechnology, doi: 10.1155/943406 (2012).

[2] Farazkish R., “A New Quantum-Dot Cellular Automata Fault-Tolerant Five-Input Majority Gate”, Journal of Nanoparticle Research 16:2259 (2014).

[3] Farazkish R., and Khodaparast F., “Design and characterization of a new fault-tolerant full-adder for quantum-dot cellular automata”, Microprocessors and Microsystems J., doi:10.1016/j.micpro.2015.04.004 (2015).

[4] Farazkish R., “A new quantum-dot cellular automata fault-tolerant full-adder”, J. Comput. Electr. 14, 506–514 (2015).

[5] Farazkish R., “Fault-tolerant adder design in quantum-dot cellular automata”, Int. J. Nano Dimens., 8(1): 40-48 (2017).

[6] Farazkish R. “Novel efficient fault-tolerant full-adder for quantum-dot cellular Automata”, Int. J. Nano Dimens., 9(1): 58-67 (2018).

[7] Farazkish R. “Robust and reliable design of bio-nanorobotic systems”, Microsystem Technologies, doi.org/10.1007/s00542-018-4049-1 (2018).

[8] Harel E., “Fabrication of latex nanostructures by nanomanipulation and thermal processing”, Nanoletters, 5 (12), 2624-2629 (2005).

[9] Hosseini S., Mehrtash M., and Khamesee M.B., “Design, Fabrication and control of a magnetic Capsule-robot for the human esophagus”, Microsystem Technologies, 17 (5), 1145–1152 (2011).

[10] Pandya A., and Auner G., “Robotics technology: a journey into the Future”, Urol Clin North Am., 31 (4), 793-800 (2004).

[11] Novakovic B., Majetic D., Kasac J. and Brezak D.; “Some Problems and Solutions in Nanorobot Control”, Annals & Proceedings of DAAAM (2011).

[12] Requicha A. G., “Nanorobots, NEMS and Nanoassembly”, Proc. IEEE, 91 (11), 1922-1933 (2003).

[13] Hamdi M., and Ferreira A., “Design, Modeling and Characterization of Bio-Nanorobotic Systems”, DOI: 10.1007/978-90-481-3180-8, Springer Netherlands (2011).

[14] Dingju Z., “Extendibility Scalability and Fault-Tolerance Methods for Cloud Robots Especially for Cloud Nanorobot”, Journal of Computational and Theoretical Nanoscience, 12, 6208-6219 (2015).

[15] Mokaberi B., and Requicha A. G., “Towards Automatic Nanomanipulation: Drift Compensation in Scanning Probe Microscopes”, IEEE International Conference on Robotics and Automation (2004).

[۱۶] فرازکیش ر.، «طراحی و کنترل سیستم‌های نانورباتیک»، مجله دنیای نانو، سال سیزدهم، شماره چهل و نهم، ۱۳۹۶.

[۱۷] حسومی الف.، و فرازکیش ر.، «مشخصه‌سازی ادوات نانوالکترونیک تحمل‌پذیر اشکال چند ورودی- چند خروجی با استفاده از آتاماتای سلولی کوانتومی» (پذیرفته شده)، مجله دنیای نانو، سال چهاردهم، شماره پنجاه و یکم، ۱۳۹۷.

***

استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات»،دومین کنفرانس بین‌المللی مهندسی برق،ایران،تهران،شهریورماه ۹۶

[۲۱] الیاسی محمد،علیزاده پهلوانی محمدرضا،«کمینه‌سازی مجموع اعوجاج‌های هارمونیکی چند هدفِ با الگوریتم ژنتیک در اینورترهای چند سطحی آبشاری ترانسفورماتوری»،سی و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق PSC ۲۰۱۶،ایران ،تهران،۱۳۹۵

[22]M. S. A. Dahidah, G. Konstantinou and V. G. Agelidis, "A Review of Multilevel Selective Harmonic Elimination PWM: Formulations, Solving Algorithms, Implementation and Applications," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 30, no. 8, pp. 4091-4106, Aug. 2015.

[23]Hojatrad, Falaghi, Farshad, “Heuristic Algorithm for Distribution Networks Reconfiguration for Loss Reduction Based on Graph Theory,” Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.11- No.1- Spring & Summer 2014.

[24]Etesami, M.H.; Farokhnia, N.; Hamid Fathi, S., “Colonial Competitive Algorithm Development Toward Harmonic Minimization in Multilevel Inverters,” in Industrial Informatics, IEEE Transactions on , vol.11, no.2, pp.459-466, April 2015.

[25]Niknam Kumle, A.; Fathi, S.H.; Jabbarvaziri, F.; Jamshidi, M.; Heidari Yazdi, S.S., “Application of memetic algorithm for selective harmonic elimination in multi-level inverters,” in Power Electronics, IET , vol.8, no.9, pp.1733-1739, 9 2015

[26]T. Sudhakar Babu, K. Priya, D. Maheswaran, K. Sathish Kumar, N. Rajasekar, Selective voltage harmonic elimination in PWM inverter using bacterial foraging algorithm, Swarm and Evolutionary Computation, Volume 20, February 2015, Pages 74-81, ISSN 2210-6502.

[27]Roberge, V.; Tarbouchi, M.; Labonte, G., “Parallel Algorithm on Graphics Processing Unit for Harmonic Minimization in Multilevel Inverters,” in Industrial Informatics, IEEE Transactions on , vol.11, no.3, pp.700-707, June 2015.

[28]Pabon Fernandez, L.D.; Diaz Rodriguez, J.L.; Jaimes Carvajal, M.A., “Three-phase multilevel inverter with selective harmonic elimination,” in Engineering Applications - International Congress on Engineering (WEA), 2015 Workshop on , vol., no., pp.1-6, 28-30 Oct. 2015.

[29]S.Assly Steffy, B.Mangaiyarkarasi, S.Sherin Jasper, K.Priyanka, K.Soorya, “ Analysis & Reduction of THD in Multilevel Inverter Using PSO Algorithm”, International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering Vol. 3, Issue 2, February 2014.

[30] Kavousi, A.; Vahidi, B.; Salehi, R.; Bakhshizadeh, M.; Farokhnia, N.; Fathi, S.S., “Application of the Bee Algorithm for Selective Harmonic Elimination Strategy in Multilevel Inverters,” Power Electronics, IEEE Transactions on , vol.27, no.4, pp.1689,1696, April 2012

[31]Ajami, Ali, Mohammad Reza Jannati Oskuee, and Ata Ollah Mokhberdoran. “Implementation of Novel Technique for Selective Harmonic Elimination in Multilevel Inverters Based on ICA.” Advances in Power Electronics 2013 (2013).

[32]Huibo Lou; Chengxiong Mao; Dan Wang; Jiming Lu; Libing Wang, “Fundamental modulation strategy with selective harmonic elimination for multilevel inverters,” Power Electronics, IET , vol.7, no.8, pp.2173,2181, August 2014.

[33]S. Tasouji Hassanpour, A. Arjhangmehr, E. Mostafapour,” THD Minimization in Cascade Multi-level Inverters with a Few DC Sources and Optimum Voltage Levels”, International Journal of Control Science and Engineering 2013.

[34]Saraswathy, S.; Kavitha, R.; Thottungal, R., “Harmonic optimization of thirteen level uniform step asymmetric Inverter using hybrid BBO/DS algorithm,” in Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS), 2015 International Conference on , vol., no., pp.1-6, 19-20 March 2015.

[35]K. Ganesan, K. Barathi, P. Chandrasekar, D. Balaji, Selective Harmonic Elimination of Cascaded Multilevel Inverter Using BAT Algorithm, Procedia Technology, Volume 21, 2015.

[36]Khamooshi, R.; Moghani, J.S., “Comprehensive harmonic optimization in cascaded h-bridge multilevel inverters using variable DC sources,” in Power Electronics, Drive Systems and Technologies Conference (PEDSTC), 2014 5th , vol., no., pp.249-254, 5-6 Feb. 2014

[37]Mahmoud Enayati and Sirous Mohammadi, ”Reducing Total Harmonic Content of-9 Level Inverter by Use of Cuckoo Algorithm“, International Journal of Electronics Communication and Computer Engineering ,.vol2014 ,6 .

[38]http//:cloudserver.blogfa.com/post6/

***

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-01]