

بهبود اعوجاج هارمونیک کل در اینورتر سه سطحی سیستم فتوولتائیک بر اساس روش حذف هارمونیک انتخابی

مجید رضوانی^۱، محمد طلوع عسکری^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی برق، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران
۲- عضو هیئت علمی، مرکز تحقیقات انرژی و توسعه پایدار، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران
m.askari@semnan.ac.ir

چکیده

در این مقاله یک تکنیک کلیدزنی قابل اطمینان و مؤثر به منظور بهبود اعوجاج هارمونیک کل، بدون استفاده از هیچ مدار فیلتری پیشنهاد می گردد. اعوجاج هارمونیک کل اثرات مضر بر روی تجهیزات الکتریکی دارند و بطور ناخواسته می تواند باعث افزایش جریان در سیستم های قدرت و در راستای آن افزایش دما در هادی خنثی و ترانسفورماتورهای توزیع شود. این روش قادر خواهد بود هارمونیک انتخابی مرتبه پایین ولتاژ خط، در خروجی اینورتر را جهت بهبود اعوجاج هارمونیک کل حذف نماید. تعیین الگوی کلیدزنی برای حذف هارمونیک انتخابی مرتبه پایین، مستلزم استفاده از کلید زنی مدولاسیون پهنای پالس می باشد. لذا در این مقاله روشی مبتنی بر حذف بهینه ی هارمونیک انتخابی مرتبه پایین ولتاژ خط، با استفاده از اینورترهای سه سطحی از نوع آشناری پیشنهاد می گردد و صحت و میزان کارایی روش پیشنهاد شده با شبیه سازی رایانه ای در نرم افزار متلب اعتبارسنجی میشود. همچنین روش پیشنهادی با روش مدولاسیون پهنای باند پالس با هم مقایسه می شوند.

کلید واژگان

اعوجاج هارمونیک کل، هارمونیک، مدولاسیون پهنای پالس، حذف هارمونیک انتخابی

An Approach for improving the total harmonic distortion in a triple level photovoltaic inverter based on selective harmonic elimination technique

M.Rezvani¹, M.T.Askari^{2*}

1- Department of Electrical and Electronic Engineering, Semnan Branch, **Islamic Azad University**, Semnan, Iran
2- Strategic Center for Energy and Sustainable Development, Semnan Branch, **Islamic Azad University**, Semnan, Iran
* P.O.B. 3518767497, Semnan, Iran, m.askari@semnaniau.ac.ir

Abstract

In this article a reliable and efficient switching technique has been proposed to decrease the total harmonic distortion. The total harmonic distortion has harmful effects on electrical devices. Also, leads to increase the temperature in neutral wire of distribution transformers due to over current in power system. The total harmonic distortion has improved by using the proposed technique to eliminate the lower order selection harmonic. Using pulse-width modulation technique is requirement as switching pattern to eliminate the selective harmonic. Therefore, an optimized technique has been proposed to eliminate the lower order selective harmonic for a triple level invertors. The efficiency of the proposed method has been validated and justified through a Simulink in MATLAB software. Also, the proposed technique compared with current pulse-width modulation technique.

Keywords

Total Harmonic Distortion, Harmonic, Pulse-width modulation, selective harmonic elimination

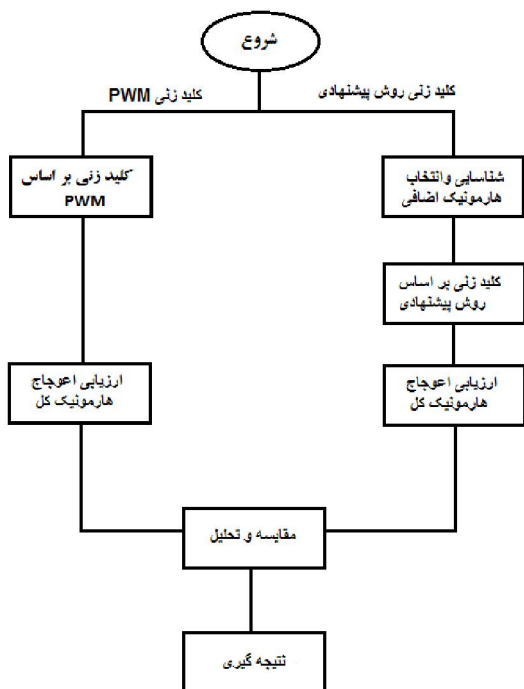
$$h = (n \times p) \pm 1$$

(۱)

که در آن n یک عدد صحیح است و p تعداد پالس های یکسوساز است. با اعمال روش های کنترلی مناسب، هارمونیک های نامطلوب مرتبه پایین یک موج خروجی را می توان حذف و مؤلفه ولتاژ اصلی را کنترل نمود که این روش با عنوان (SHE) حذف هارمونیک انتخابی شناخته می شود. حذف هارمونیک های مرتبه پایین با استفاده از PWM برنامه ریزی شده، طیف خروجی با کیفیت بالا تولید می کند، که این عمل، باعث کاهش ریبیل جریان و نهایتاً بهبود اعوجاج هارمونیک کل خواهد شد. میزان کارایی یک مبدل قدرت (یکسوساز/اینورتر) تا حد زیادی وابسته به روش مدولاسیون پهنای پالسی وابسته است که استفاده می شود. تکنیک های PWM برنامه ریزی شده، مانند حذف هارمونیک انتخابی، یک تابع هدف را بهینه می کنند. تکنیک PWM

۱- مقدمه

در سالیان اخیر با توجه به لزوم افزایش بهره وری و راندمان در صنایع مختلف، کاربرد تجهیزات الکترونیک قدرت به سرعت افزایش یافته است. این تجهیزات به علت داشتن مشخصه غیرخطی باعث کشیده شدن جریان غیرسینوسی و در نتیجه، تزریق هارمونیک به شبکه قدرت می شوند. از جمله این تجهیزات می توان به دراپوهای سرعت متغیر و مبدلهای الکترونیک قدرت اشاره نمود. مدولاسیون پهنای پالس، موضوع بسیاری از تحقیقات در دهه های اخیر بوده است. انواع گوناگونی از مدولاسیون پهنای پالس که با کاربردهای صنعتی ارتباط دارند، به طور وسیعی مورد بحث قرار گرفته است [۱-۲]. مرتبه هارمونیک های ایجاد شده به تعداد پالس های یکسوساز مورد استفاده در مدار وابسته خواهد بود و با استفاده از رابطه (۱) قابل محاسبه است:



شکل ۱ بلوک دیاگرام روند کلی الگوریتم کلید زنی پیشنهادی

در روش مدولاسیون پهنای پالس بر پایه موج حامل، از دو موج حامل^۱ و یک موج مرجع^۲ استفاده میشود که در شکل (۲) نشان داده شده است. یکی از روش های کلاسیک، مدولاسیون پهنای پالس سینوسی می باشد. در این روش موج مثلثی فرکانس بالا (موج حامل) با موج سینوسی (موج مرجع) که نماینده سیگنال خروجی مطلوب است مقایسه می شود. در اینورتر سه فاز، موج حامل مثلثی با سه شکل موج سینوسی که با یکدیگر اختلاف فاز ۱۲۰ درجه دارند مقایسه می شود. هر گاه اندازه موج مرجع مربوط به یک فاز از موج حامل مثلثی بیش تر باشد مقایسه کننده مربوط به هر فاز، پالسی را تولید می کند که کلید بالایی ساق مربوط به آن فاز را روشن و کلید پایینی را خاموش می کند و در صورتی که اندازه موج مرجع از موج حامل کم تر باشد پالس خروجی مقایسه کننده، کلید پایینی ساق مربوط به آن فاز را روشن و کلید بالا را خاموش می کند [۹].

بهبود اعوجاج هارمونیک کل در اینورتر سه سطحی سیستم فتوولتائیک بر اساس روش حذف هارمونیک انتخابی، در اینورترهای فرکانس بالا استفاده می شود [۳-۴] تکنیک های کلید زنی بهینه سازی در فعالیت های طراحی مهندسی به طور روزافزونی در حال افزایش است که در آنها هدف، ماکزیمم یا مینیمم کردن یک تابع است.

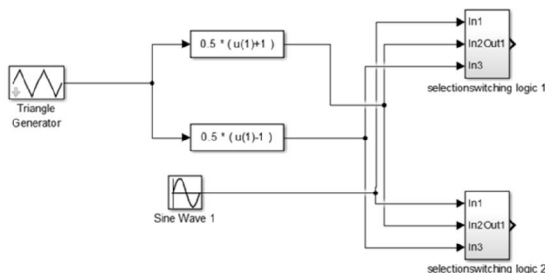
در روش SHE برای مینیمم کردن تابع هدف از روش های ریاضی سنتی، مانند CGD [۵] و روش نیوتن رافسن [۶] استفاده می شده است. این روش ها برای دستیابی به هدف مورد نظر به مقادیر اولیه نیاز داشته، ممکن است سبب تولید مینیمم محلی و دستیابی به الگوی نامطلوب گردد. همچنین، در سالیان اخیر از الگوریتم های تکاملی، از جمله الگوریتم ژنتیک برای تعیین الگوی کلیدزنی اینورتر استفاده شده است [۷-۸].

در این مقاله برای تعیین الگوی کلیدزنی حذف هارمونیک انتخابی، و در نتیجه کاهش اعوجاج هارمونیک کل، پس از کلید زنی بر اساس مدولاسیون PWM و مشاهده هارمونیک های مرتبه پایین، از روش پیشنهادی جدید، از طریق اعمال موج سینوسی با فاز معکوس با دامنه و فرکانس هارمونیک انتخابی استفاده می شود که دامنه هارمونیک انتخابی از معادلات سری فوریه بدست می آید. نتایج حاصل از این روش، کارایی بسیار مطلوب آن را، برای حذف هارمونیک انتخابی مرتبه پایین و نیز کاهش اعوجاج کل نشان می دهد. برای نشان دادن کارایی این روش، نتایج حاصله از آن، با نتایج روش مدولاسیون PWM مقایسه شده است.

قسمت های مختلف این مقاله به شرح زیر است : در بخش دوم مدولاسیون پهنای پالس معرفی می شود، در بخش سوم روش کلید زنی SHE PWM پیشنهادی ونحوه عملکرد آن مورد بررسی قرار خواهد گرفت، در بخش چهارم به نتایج شبیه سازی و مقایسه بین روش پیشنهادی و مدولاسیون پهنای پالس می پردازیم و در بخش پنجم نتیجه گیری ارائه خواهد شد.

۲- مدولاسیون پهنای پالس

روند کامل الگوریتم تکنیک کلید زنی پیشنهادی در این مقاله را در بلوک دیاگرام شکل (۱) مشاهده میکنید.



شکل ۲ شماتیک بلوک موج مرجع با دو موج حامل

که m شاخص مدولاسیون ، V_{dc} ولتاژ مستقیم ورودی به اینورتر می باشد.
 با توجه به رابطه بالا بیشترین مقدار ولتاژ فاز خروجی اینورتر به ازای $m=1$ برابر $0.5 V_{dc}$ می باشد.

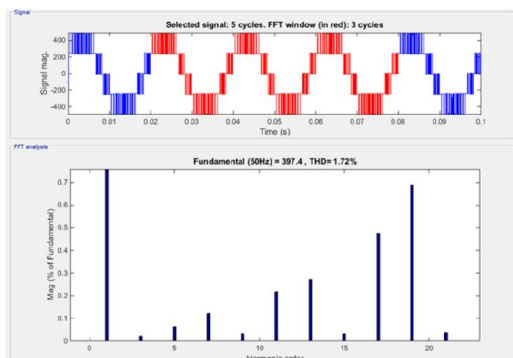
۳- تکنیک کلید زنی SHE PWM پیشنهادی

۳-۱- معرفی

روش حذف هارمونیک انتخابی (SHE) برای اولین بار توسط پاتل و هافت معرفی شد و به روش موثر برای حذف هارمونیک های مرتبه پایین در اینورترهای سه سطحی و دو سطحی است. این روش در آینده برای استفاده در اینورترهای چند سطحی گسترش یافت [۱۰] روش مدولاسیون عرض پالس حذف هارمونیک انتخابی (SHEPWM) بطور سیستمیک برای اولین بار برای اینورترهای PWM منبع ولتاژ سری چند سطحی بکار گرفته شد. این روش بر اساس تکنیک های بهینه سازی اجرا شده است [۱۱]. تکنیک مدولاسیون عرض پالس حذف هارمونیک انتخابی ، اخیراً در مدارهای اینورتر سه سطحی معمولی به کار گرفته می شود . مفهوم روش حذف هارمونیک انتخابی در این فصل ارائه خواهد شد .

۳-۲- روش پیشنهادی

در این مقاله با توجه به کلید زنی بر اساس PWM متوجه شدیم که مدولاسیون پهنای باند سینوسی قادر به حذف هارمونیک های مرتبه پایین نیست و از طرفی مقدار شاخص اعوجاج هارمونیک کل زیاد است که در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴ آنالیز و مشاهده هارمونیک های ایجاد شده در شکل موج ولتاژ خروجی اینورتر بر اساس PWM

با توجه به روش کلید زنی پیشنهادی، هارمونیک منتخب و اضافی شکل موج خروجی را شناسایی کردیم و جهت کاهش این هارمونیک و در نتیجه کاهش اعوجاج هارمونیک کل یک منبع موج سینوسی با فاز معکوس نسبت به فاز مرجع و با دامنه و فرکانس هارمونیک انتخابی را به سیستم اعمال کردیم که در شکل (۵) نشان داده شده است.

شکل موج های ولتاژ خروجی اینورتر با تکنیک مدولاسیون پهنای پالس سینوسی در شکل (۳) نشان داده شده است.
 در مدولاسیون پهنای پالس سینوسی، شاخص مدولاسیون با رابطه (۲) تعریف می شود.

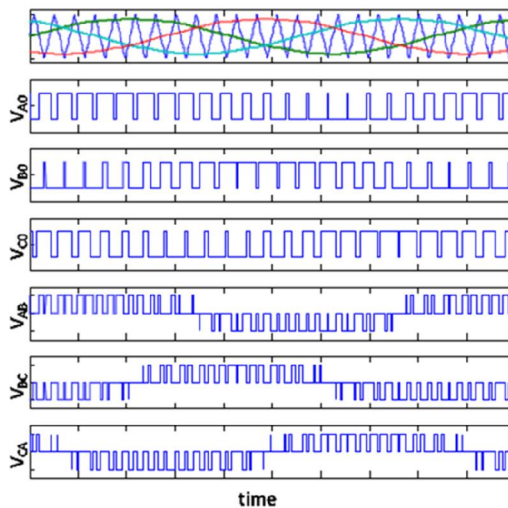
$$Ma = \frac{V_{control}}{V_{tri}} \quad (2)$$

Ma شاخص مدولاسیون ، $V_{control}$ اندازه سیگنال مرجع و V_{tri} اندازه موج حامل مثلثی می باشد.

نسبت فرکانس نیز از رابطه (۳) بدست آید.

$$Mf = \frac{F_{tri}}{F_{control}} \quad (3)$$

Mf نسبت فرکانس ، F_{tri} فرکانس موج حامل مثلثی و $F_{control}$ فرکانس سیگنال مرجع می باشد.



شکل ۵ مدولاسیون پهنای پالس سینوسی در اینورتر سه فاز

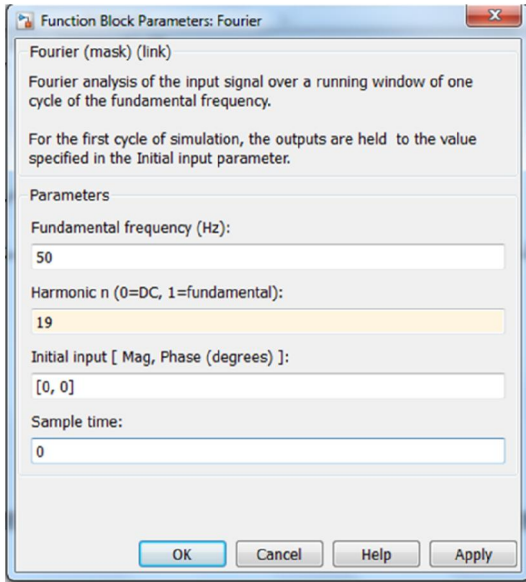
عملکرد مدولاسیون پهنای پالس را می توان به دو بخش تقسیم کرد:
 ۱- حالت خطی: در این حالت اندازه سیگنال حامل از اندازه سیگنال مرجع بزرگ تر است.

۲- حالت غیرخطی: در این حالت اندازه سیگنال مرجع بزرگ تر از اندازه سیگنال حامل می باشد.

اندازه سیگنال خروجی با تغییر اندازه سیگنال مرجع تغییر می کند. هم چنین به راحتی می توان فرکانس ولتاژ خروجی را با تغییر فرکانس سیگنال مرجع تغییر داد. بنابراین فرکانس موج مرجع سینوسی، فرکانس ولتاژ خروجی اینورتر و فرکانس موج مثلثی فرکانس کلیدزنی را تعیین می کند. در روش مدولاسیون پهنای پالس سینوسی، اندازه مولفه اصلی ولتاژ فاز خروجی اینورتر از رابطه (۴) به دست می آید:

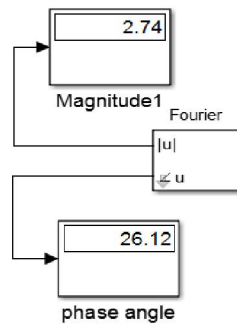
$$V_{ref} = V_{ph} \cdot 1 \frac{m \cdot V_{dc}}{2} \quad (4)$$

پس از کلید زنی و مشاهده شکل موج و هارمونیک های ایجاد شده متوجه شدیم که هارمونیک ۱۹ دارای شاخص بیشتری نسبت به هارمونیک های دیگر می باشد و به عبارتی هارمونیک منتخب ما جهت حذف هارمونیک ۱۹ تعیین شد. برای حذف این هارمونیک انتخاب شده که تمام هدف ما در این پژوهش میباشد از تکنیک اعمال موج سینوسی دوم با فاز معکوس و با مقدار دامنه هارمونیک انتخابی استفاده کردیم و از معادلات سری فوریه برای بدست آوردن دامنه هارمونیک منتخب بهره گرفتیم و به این صورت که هارمونیک انتخابی را به سری فوریه دادیم و از طرفی با محاسباتی که این بلوک با توجه به روابط (۶) انجام داد دامنه و مقدار فاز هارمونیک انتخابی را بدست آورد. که شماتیک بلوک سری فوریه در محیط متلب، در شکل (۶) نشان داده شده است.

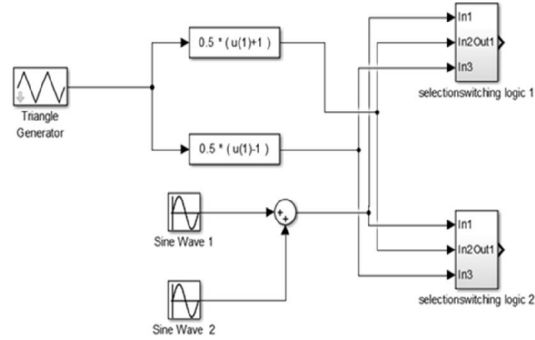


شکل ۶ شماتیک بلوک سری فوریه در محیط متلب

همانطور که در شکل (۶) مشاهده میکنیم فرکانس اصلی ما 50HZ در نظر گرفته شده است و هارمونیک انتخابی ما جهت حذف هارمونیک ۱۹ می باشد. در این صورت این بلوک با توجه به معادلات (۶) و تعیین هارمونیک منتخب مقدار دامنه و فاز این هارمونیک را برای ما به نمایش می گذارد که نتایج را میتوان در شکل (۷) مشاهده کرد.



شکل ۷ نتایج سری فوریه برای محاسبه دامنه و مقدار فاز هارمونیک منتخب



شکل ۵ اعمال موج سینوسی دوم با فاز معکوس و مقدار دامنه و فرکانس هارمونیک انتخابی جهت کاهش هارمونیک انتخابی

۳-۳- بدست آوردن دامنه از معادلات سری فوریه

از آنجا که در این پژوهش و در شبیه سازی از معادلات سری فوریه نیز استفاده کردیم لازم دانستیم نگاه کوچکی به این معادلات داشته باشیم و مورد استفاده این معادلات را برای این سیستم مورد تحلیل قرار دهیم.

سری فوریه، روشی در ریاضیات می باشد که به وسیله آن، هر تابع متناوبی به صورت جمعی از توابع سینوس و کسینوس می تواند نوشته شود. نام این قضیه به اسم ریاضیدان فرانسوی، ژوزف فوریه ثبت شده است. در این پژوهش به کمک معادلات سری فوریه دامنه و مقدار فاز هارمونیک انتخابی را محاسبه کردیم. این بلوک میتواند برای محاسبه دامنه و فاز جز اصلی و هر جز هارمونیک سیگنال ورودی برنامه ریزی شود. یادآوری میکنیم که یک سیگنال $F(t)$ میتواند به وسیله یک سری فوریه به شکل معادله (۵) بیان شود.

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)) \quad (5)$$

که n نشان دهنده ترکیب هارمونیک هاست. (n=1 برای هارمونیک اصلی است). دامنه و فاز جز هارمونیک انتخابی به وسیله معادلات (۶) محاسبه میشود.

$$H_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (6)$$

$$\angle H_n = \text{atan} 2 \left(\frac{b_n}{a_n} \right)$$

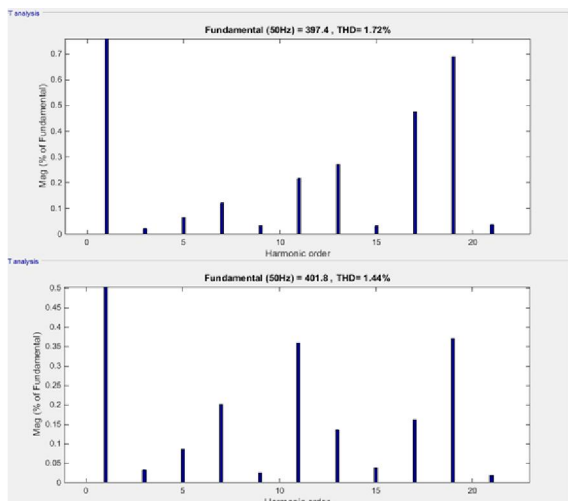
$$a_n = \frac{2}{T} \int_{t-T}^t F(t) \cos(n\omega t) dt$$

که در این صورت

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{t-T}^t F(t) \sin(n\omega t) dt$$

$$T = \frac{1}{f_1}$$

F_1 = اصلی هارمونیک



شکل ۹ مقایسه رفتار سیستم قبل و بعد از حذف هارمونیک انتخابی

همانطور که در شکل (۹) مشاهده میکنیم به وضوح خواهیم دید که هارمونیک ۱۹ به مقدار قابل قبولی کاهش پیدا کرده است و همچنین نظاره میکنیم که مقدار شاخص THD در حدود ۰٫۳٪ و به عبارتی تقریباً ۲۰٪ دارای نرخ نزولی بوده است که این مقدار کاهش THD در چنین سیستمی بسیار چشم گیر خواهد بود و از دید سیستم رفتار بسیار مطلوبی بنظر میرسد.

ولی تفاوت های در رفتار سیستم برای قبل و بعد از حذف هارمونیک منتخب وجود دارد که با مشاهده دقیق و آنالیز در شکل(۹) به این تفاوت ها پی خواهیم برد که در جدول(۱) مورد تحلیل قرار داده ایم.

جدول ۱ مقایسه دامنه هارمونیک ها و شاخص THD قبل و بعد از حذف هارمونیک

هارمونیک	دامنه هارمونیک قبل از حذف	دامنه هارمونیک بعد از حذف
	نسبت به مرجع بر حسب %	نسبت به مرجع بر حسب %
۳	۰٫۰۲۲۸۵	۰٫۰۳۲۹
۵	۰٫۰۶۴۶۹	۰٫۰۸۶۱
۷	۰٫۱۲۲	۰٫۲۰۱۶
۹	۰٫۰۳۲۰۲	۰٫۰۲۵
۱۱	۰٫۲۱۷	۰٫۳۶۵
۱۳	۰٫۲۷۱۵	۰٫۱۳۵۶
۱۵	۰٫۰۳۱۸۸	۰٫۰۳۸۲۹
۱۷	۰٫۴۷۶۶	۰٫۱۶۲۲
۱۹	۰٫۰۶۹	۰٫۳۷۰۶
۲۱	۰٫۰۳۶۹۴	۰٫۰۱۹۰۱
THD	٪۱٫۷۲	٪۱٫۴۴

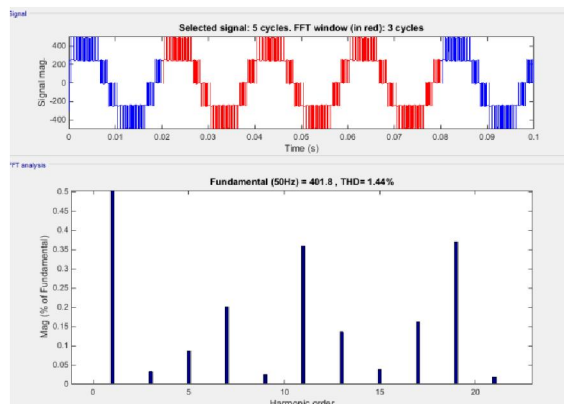
همانطور که در جدول(۱) مشاهده میکنیم متوجه خواهیم شد که هارمونیک های ۳، ۵، ۷، ۱۱ و ۱۵ به مقدار بسیار کمی در حدود کمتر از ۰٫۰۲٪ افزایش پیدا کرده اند که این افزایش در این هارمونیک

۴-۳- کاهش هارمونیک انتخابی با روش پیشنهادی

هدف ما کاهش هارمونیک انتخابی(که در اینجا هارمونیک ۱۹ است) میباشد. در این مقاله جهت حذف هارمونیک انتخابی از تکنیکی استفاده کردیم که باعث شد هارمونیک انتخابی که باعث افزایش THD شده بود به مقدار قابل قبولی کاهش پیدا کند.

تکنیکی که در این پژوهش استفاده کردیم به این صورت است که علاوه بر موج سینوسی مرجع که برای کلید زنی PWM به سیستم اعمال کردیم از یک موج سینوسی دیگر نیز استفاده کردیم که این منبع موج دارای مقدار فاز معکوس نسبت به موج سینوسی مرجع می باشد و همچنین با دامنه و فرکانس هارمونیک انتخابی روی سیستم اعمال شده است .

بعد از اعمال موج سینوسی دوم با همان تکنیکی که استفاده کردیم و شرح دادیم مشاهده خواهیم کرد که هارمونیک انتخابی ما که هارمونیک ۱۹ بود به مقدار قابل قبولی کاهش پیدا کرده است و همچنین خواهیم دید که مقدار THD نیز کاهش پیدا میکند. در شکل (۸) نتیجه انجام این تکنیک را مشاهده میکنیم و خواهیم دید که هارمونیک ۱۹ و THD کل کاهش پیدا کرده است و در بخش بعد به تحلیل و مقایسه هارمونیک ها، قبل و بعد از حذف می پردازیم.



شکل ۸ کاهش هارمونیک ۱۹ و مقدار THD با روش پیشنهادی

۴-۴- نتایج و تحلیل روش پیشنهادی

در شکل (۴) رفتار شکل موج خروجی ولتاژ اینورتر را پس از کلید زنی با تکنیک PWM مورد آنالیز قرار دادیم و مشاهده کردیم که هارمونیک در شکل موج وجود دارد که دارای شاخص بیشتری نسبت به بقیه میباشد و همچنین مقدار THD نسبت به رفتار سیستم بیش از حد می باشد. و در جهت حذف این هارمونیک انتخابی که هارمونیک ۱۹ بود با استفاده از تکنیکی که در این مقاله مورد مطالعه قرار دادیم کوشیدیم و بعد از حذف هارمونیک انتخابی نتایج بصورت شکل (۹) مشاهده شد.

و همچنین در صورت تغییر بار ممکن است هارمونیک ها متغیر شوند که باز هم با استفاده از این تکنیک هر نوع هارمونیک انتخابی رو میتوانیم حذف یا کاهش دهیم.

۶- مراجع

- [1] Wagner, V. E., et al. "Effects of harmonics on equipment." *Power Delivery, IEEE Transactions on* 8.2 (1993): 672-680.
- [2] Sun, Jian, and Horst Grotstollen. "Solving nonlinear equations for selective harmonic eliminated PWM using predicted initial values." *Industrial Electronics, Control, Instrumentation, and Automation, 1992. Power Electronics and Motion Control, Proceedings of the 1992 International Conference on.* IEEE, 1992.
- [3] Shi, K. L., and Hui Li. "Optimized PWM strategy based on genetic algorithms." *Industrial Electronics, IEEE Transactions on* 52.5 (2005): 1458-1461.
- [4] Agelidis, Vassilios G., Anastasios Balouktsis, and Calum Cossar. "On attaining the multiple solutions of selective harmonic elimination PWM three-level waveforms through function minimization." *Industrial Electronics, IEEE Transactions on* 55.3 (2008): 996-1004.
- [5] Maswood, A. I., Shen Wei, and M. A. Rahman. "A flexible way to generate PWM-SHE switching patterns using genetic algorithm." *Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2001. APEC 2001. Sixteenth Annual IEEE.* Vol. 2. IEEE, 2001.
- [6] Sun, J., S. Beineke, and H. Grotstollen. "DSP-based real-time harmonic elimination of PWM inverters." *Power Electronics Specialists Conference, PESC'94 Record., 25th Annual IEEE.* IEEE, 1994.
- [7] Barkati, Said, et al. "Harmonic elimination in diode-clamped multilevel inverter using evolutionary algorithms." *Electric Power Systems Research* 78.10 (2008): 1736-1746.
- [8] Jegathesan, V. "Genetic algorithm based solution in PWM converter switching for voltage source inverter feeding an induction motor drive." *JW, AJSTD* 26.2 (2010): 45-60.
- [9] مدولاسیون بهنای پالس سینوسی و بردار فضایی در اینورترهای قدرت "محمد علیزاده ۱، مجید آقابابایی ۲، احسان ابراهیمی ۳" ۱- مری، دانشکده برق، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی(ره) ۲- استادیار، دانشکده برق، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره) ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)
- [10] TUNCER, S., TATAR, Y., & GÜLDEMİR, H. (2005). A SHEPWM Technique with Constant v/f for Multilevel Inverters. *Politeknik Dergisi*, 8(2).
- [11] Li, L., Czarkowski, D., Liu, Y., & Pillay, P. (2000). Multilevel selective harmonic elimination PWM technique in series-connected voltage inverters. *Industry Applications, IEEE Transactions on*, 36(1), 160-170.

های ناشی از سوئیچینگ است که با وارد کردن موج مرجع سینوسی دوم جهت حذف هارمونیک ۱۹ رخ داده است. نرخ افزایشی این هارمونیک ها بسیار محدود میباشد و اصلا از چشم سیستم این رفتار قابل مشاهده نیست و به هیچ عنوان تاثیری در شکل موج خروجی و رفتار سیستم نخواهد داشت.

از طرفی مشاهده میکنیم که هارمونیک های ۹، ۱۳، ۱۷ و ۲۱ هم به مقدار کمی در حدود ۰.۰۲ تا ۰.۳٪ کاهش پیدا کرده اند که این کاهش هارمونیک هم زیاد به چشم نخواهد آمد ولی در کاهش مقدار شاخص THD میتواند تاثیر گذار باشد. ولی هدف ما در این شبیه سازی کاهش هارمونیک ۱۹ بود، چون هارمونیک انتخابی ما جهت حذف این هارمونیک بود و ما نمیخواستیم این هارمونیک با این مقدار دامنه در سیستم وجود داشته باشد واز طرفی هم این هارمونیک با دامنه تقریبا ۰.۷٪ باعث ایجاد تلفات و افزایش THD در سیستم شده بود و با کلید زنی ای که با فاز معکوس و با مقدار دامنه و فرکانس هارمونیک انتخابی انجام دادیم توانستیم شاخص THD را در حدود ۲۰٪ کاهش دهیم که از دید سیستم نتیجه بسیار مطلوبی می باشد.

۵- نتیجه گیری

همانطور که دیدیم توانستیم با استفاده از تکنیک سوئیچینگ مدولاسیون عرض پالس سینوسی یک موج سینوسی در خروجی شکل موج ایجاد کنیم و هارمونیک های ایجاد شده در خروجی را مشاهده کنیم. سپس دامنه و مقدار فاز هارمونیک انتخابی را بدست آوردیم و با استفاده از کلید زنی که انجام دادیم، به این صورت که یک موج سینوسی دوم با مقدار فاز معکوس نسبت به منبع موج مرجع(سینوسی) و با دامنه و مقدار فرکانس هارمونیک انتخابی رو سیستم اعمال کردیم، توانستیم هارمونیک منتخب که در این پژوهش هارمونیک ۱۹ بود را به مقدار قابل قبولی کاهش دهیم واز مقدار شاخص THD نیز کاسته شود. بحثی که مطرح هست این است که ما هر هارمونیکی رو که در خروجی خواهیم داشته باشیم میتوانیم با استفاده از این تکنیک سوئیچینگ حذف و یا کاهش دهیم