

## مطالعه و شبیه‌سازی تاثیر فیلتر فعال موازی سه‌فاز در سیستم‌های قدرت اعوجاجی ولتاژ پایین

کوروش اسماعیلی<sup>۱،۲</sup>، امیر بکتاش<sup>۳\*</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

\*۲- استادیار، گروه برق، دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

amir.baktash@gmail.com

۳- مرکز تحقیقات ریزشبکه‌های هوشمند، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱/۲۰

**چکیده:** فیلترهای اکتیو شنت، هارمونیک‌های جریان را با تزریق جریان جبران کننده هارمونیک برابر اما مخالف جبران می‌کنند. فیلتر فعال شنت به عنوان یک منبع جریان عمل می‌کند که اجزای هارمونیک تولید شده توسط بار را تزریق می‌کند، اما فاز آن ۱۸۰ درجه جابجا می‌شود. در این مقاله عملکرد یک فیلتر فعال موازی سه‌فاز بدون استفاده از بانک خازنی بررسی شده است و نتایج از نظر فنی و اقتصادی ارزیابی می‌شود. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از سیمولینک در نرم‌افزار متلب به دست آمده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد تصحیح ضریب قدرت بدون هیچگونه تشدید هارمونیکی صورت گرفته و منبع تنها تولید کننده توان اکتیو بوده و جبران‌ساز تامین توان راکتیو را بر عهده دارد.

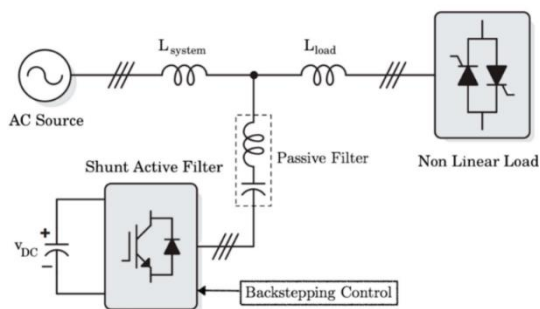
**واژه‌های کلیدی:** فیلتر اکتیو، تصحیح ضریب توان، شبکه توزیع، اعوجاج هارمونیک کل

### ۱- مقدمه

تمام هزینه‌های مصرف شده را جبران می‌کند [۹،۱۰]. پیشرفت‌های عملی و تحقیقاتی صورت گرفته در سالیان اخیر، قابلیت اطمینان سیستم‌های جبران کننده را افزایش داده است. بارهای صنعتی علاوه بر نیاز به توان اکتیو، به توان راکتیو نیاز دارند [۱۱،۱۲]. مطالعات مختلفی در زمینه اصلاح ضریب توان در سیستم‌های مختلف مانند سیستم فتوولتائیک [۱۳]، بالاست‌های الکترونیکی [۱۴]، سیستم توزیع [۱۵] و مبدل‌های بوست [۱۶] انجام شده است. جبران‌سازی معمولاً با نصب بانک‌های خازنی در نقاط ورودی مراکز صنعتی و تجاری انجام می‌شود و چنانچه تقاضا برای جبران سازی بار مورد نظر در نوسان باشد، مقدار خازنها تغییر می‌کنند. اگر تغییرات به درستی اعمال و کنترل شود، خازن می‌تواند عملکرد مدارهای توزیع را بهبود بخشد. امروزه یکی از مهمترین دغدغه‌های صنعت برق، مقابله با هارمونیک‌ها و تبعات آن است. در شرایط ولتاژ یکسان، افزایش فرکانس به افزایش جریان خازن منتهی می‌شود [۱۷،۱۸].

انرژی یک نیاز اساسی برای استمرار توسعه اقتصادی، رفاه اجتماعی، بهبود کیفیت زندگی و امنیت جامعه است [۱،۲]. از مسائل مهم می‌توان به گستردگی نیاز انسان به منابع انرژی اشاره کرد به طوریکه تلاش برای دستیابی به منابع دائمی انرژی از اهداف دیرینه انسان محسوب می‌شود [۳،۴]. در طول سال‌های متمادی منابع انرژی از مهمترین عوامل حیات اقتصادی صنعتی و علمی کشورها محسوب می‌شود و امنیت ملی و پایداری نظام‌های حکومتی نیز تا حد بسیاری در گرو دسترسی به منابع انرژی است [۵،۶]. نیاز جهان به انرژی در طی سال‌های اخیر افزایش چشم‌گیری داشته است و منابع انرژی‌های فسیلی پاسخگوی این نیاز برای تکامل و توسعه در آینده نیستند [۷،۸].

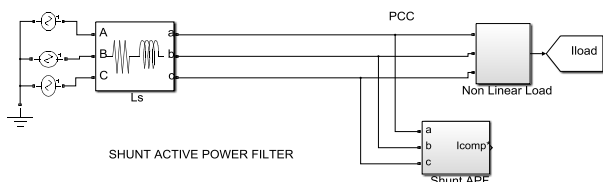
اصلاح ضریب توان توسط بانک‌های خازنی از بهترین روش‌های کاهش هزینه‌های ناخواسته انرژی مورد استفاده است بطوریکه زمانی کوتاه



شکل (۱): ساختار فیلتر اکتیو

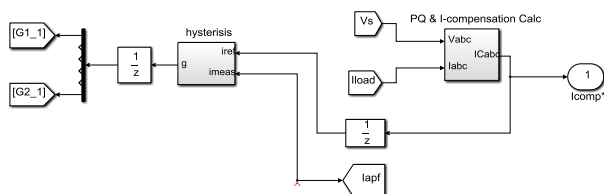
### ۳- نتایج شبیه‌سازی

در شکل (۲) نمای کلی سیستم تحت مطالعه را نشان می‌دهد. این سیستم شامل منبع ولتاژ سه‌فاز ۳۸۰ ولت با اندوکتانس منبع ۷/۵ میلی-هانری و مقاومت منبع ۰/۱۵ اهم است. همچنین سیستم دارای بار غیرخطی، بارخطی، بانک خازنی و سه عدد اینورتر تکفاز با کلیدهای قدرت ماسفت است.



شکل (۲): شمای سیستم شبیه‌سازی شده در سیمولینک متلب

جریان‌های مرجع اندازه‌گیری شده از سیستم کنترلی، همراه با جریان‌های اندازه‌گیری شده از سیستم به عنوان ورودی‌های کنترل هیستریزس انتخاب می‌شوند. در این مرحله پالس‌های دوقطبی گیت‌های ماسفت، به صورت لحظه‌ای، جهت عملکرد صحیح اینورترها تولید می‌شود. شکل (۳) کنترل‌کننده هیستریزس جهت تولید پالس گیت‌های کلیدهای ماسفت را در محیط سیمولینک متلب نشان می‌دهد. اساس کار مدار کنترلی بر اساس تئوری توان لحظه‌ای است. شکل (۴) سیستم قدرت مجهز به فیلتر اکتیو در محیط سیمولینک متلب را نشان می‌دهد. مدار قدرت فیلتر اکتیو موازی از نوع ولتاژ در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل (۳): کنترلر هیستریزس جهت تولید پالس گیت‌های کلیدهای ماسفت

مناسب‌ترین روش جهت میرا کردن تشدید هارمونیک‌ها و جبران توان راکتیو در شبکه‌های توزیع استفاده از فیلترهای اکتیو است [۱۹،۲۰]. تاکنون مطالعات مختلفی در زمینه کاربرد فیلترهای اکتیو انجام شده است [۲۱،۲۲].

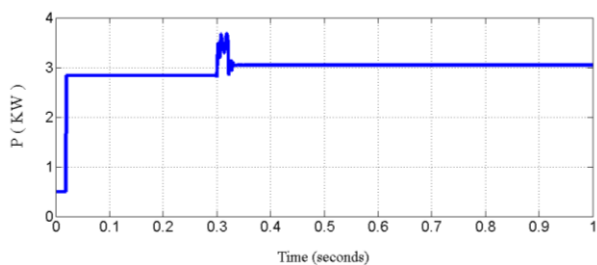
فیلتر فعال قدرت موازی که بر اساس آشکار سازی ولتاژ کار می‌کند و با هدف کاهش مؤثر و جبران‌سازی پدیده‌های انتشار و نوسان هارمونیکی در [۲۳] مطالعه شده و دو حالت اتصال منبع ولتاژ هارمونیکی به شبکه شعاعی و اتصال منبع جریان هارمونیکی بررسی شده است. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهند که برای یک فیدر توزیع قدرت شعاعی ده باسه در حالت‌های مختلف اتصال بار غیرخطی با انتخاب بهره ثابت (متناسب با عکس امپدانس مشخصه) دو پدیده فوق به طور مؤثر کاهش می‌یابد.

در [۲۴] فیلتر قدرت فعال شنت با استفاده از یک منبع انرژی منفرد که به یک اینورتر چند سطحی آبشاری با ترانسفورماتورهای سه فاز تغذیه می‌شود اشاره شده که برای محاسبه جریان‌های هارمونیکی از نظریه مؤثر  $i_d - i_q$  استفاده می‌شود.

همانطور که بیان شد فیلتر اکتیو یک مبدل الکترونیکی قدرت است که برای بهبود کیفیت توان با حذف اثر هارمونیک‌های ناشی از بارهای غیرخطی استفاده می‌شود. در این مقاله عملکرد یک فیلتر فعال موازی سه‌فاز بدون استفاده از بانک خازنی بررسی شده است و نتایج از نظر فنی و اقتصادی ارزیابی می‌شود. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از سیمولینک در نرم‌افزار متلب بدست آمده است.

### ۲- فیلتر اکتیو

در سیستم‌های قدرت به منظور میرا سازی هارمونیک‌ها و جبران توان راکتیو از فیلترهای فعال موازی استفاده می‌شود. کنترل این فیلترها در دو حوزه زمان و فرکانس اتفاق انجام می‌گیرد [۲۵]. ساختار یک فیلتر اکتیو در شکل (۱) نشان داده شده است. فیلتر اکتیو جهت جبران‌سازی جریان هارمونیکی یک بار خاص طراحی شده است. این فیلتر شامل یک مبدل تغذیه ولتاژ همراه با یک کنترل‌کننده جریان PWM و یک کنترل‌کننده فیلتر اکتیو است. همچنین یک خازن dc و ماسفت، همراه با یک دیود موازی معکوس جهت نشان دادن فیلتر فعال موازی استفاده شده است. این فیلتر از نوع منبع ولتاژ است که نوع منبع جریان آن نیز وجود دارد. در سیستم‌های کنونی تقریباً در همه فیلترهای فعال موازی از مبدل‌های منبع ولتاژ استفاده می‌شود [۲۶،۲۷]. در فیلترهای اکتیو موازی لازم است که جریان مرجع به صورت کاملاً دقیق و به موقع در اختیار مبدل الکترونیک قدرت قرار گیرد تا بتواند عمل جبران‌سازی را بدون خطا انجام دهد. در سیستم هارمونیکی می‌توان مولفه اصلی جریان اعوجاجی را با استفاده از فیلتر میان‌گذر استخراج کرد. کنترل‌کننده فیلتر اکتیو دارای چهار بلوک کنترلی محاسبه توان لحظه‌ای، انتخاب جبران‌سازی توان، تنظیم کننده ولتاژ dc و محاسبه مرجع جریان است [۲۸،۲۹].



شکل (۷): تغییرات توان اکتیو با استفاده از فیلتر فعال موازی سه فاز

در شکل (۸) مقدار ضریب توان اولیه در سیستم به واسطه بارخطی- مقاومتی از میزان اولیه ۰/۶۸ به مقدار ۰/۹۹ پیش فاز رسیده است. این جابجایی ضریب توان یا به عبارت دیگر تصحیح ضریب قدرت، باعث می شود که تنها توان اکتیو از منبع کشیده شود. همچنین جریان و ولتاژ منبع به همراه جریان بار و ولتاژ در نقطه اتصال مشترک در فرم سینوسی و مقدار THD قابل قبول هستند.

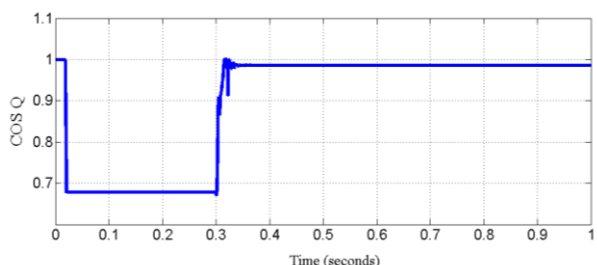
همانطور که در شکل (۹) مشاهده می شود، جریان منبع به فرم سینوسی نزدیک شده و میزان THD آن کاهش پیدا کرده است. همچنین ولتاژ منبع، کاملاً سینوسی و بدون اعوجاج است. جریان بار نیز سینوسی و با کاهش قابل قبول THD روبرو شده است.

در ادامه، نتایج شبیه سازی سیستم قدرت اعوجاجی ولتاژ پایین در ولتاژ بار و ولتاژ در نقطه اتصال فیلتر فعال موازی به سیستم قدرت (PCC) ارائه شده است. کاهش میزان THD در جریان منبع و جریان بار، به مفهوم عملکرد صحیح جبران ساز است.

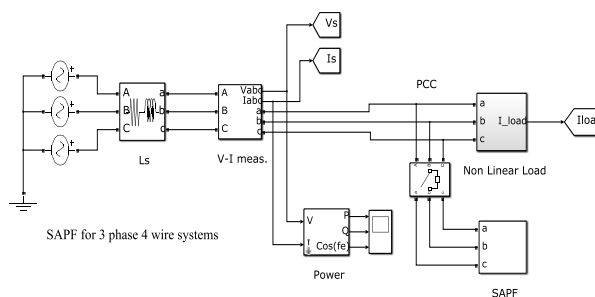
این مسئله در شرایطی اتفاق می افتد، که منبع تنها تولید کننده توان اکتیو و جبران ساز همه توان راکتیو مورد نیاز شبکه را تامین کند.

در این شرایط جریانی که وارد بانک خازنی می شود، عاری از هرگونه هارمونیک است و سیستم علاوه بر اصلاح ضریب قدرت، میراسازی هارمونیک ها را نیز بدرستی انجام داده است.

همچنین بعد از عمل جبران سازی توسط فیلتر فعال موازی سه فاز، ولتاژ بار و ولتاژ در نقطه اتصال مشترک ( $V_{PCC}$ ) مطابق با شکل (۱۰) است. عملکرد صحیح فیلتر فعال موازی و مدار کنترلی آن وابسته به ثابت بودن ولتاژ لینک DC مطابق شکل (۱۱) است.

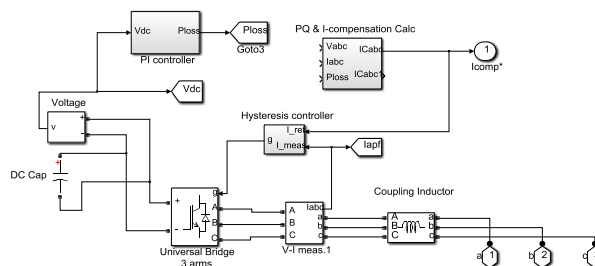


شکل (۸): تصحیح ضریب قدرت سیستم اعوجاجی با استفاده فیلتر فعال موازی سه فاز



شکل (۴): بلوک دیاگرام سیستم قدرت مجهز به فیلتر فعال موازی سه فاز در

سیمولینک متلب

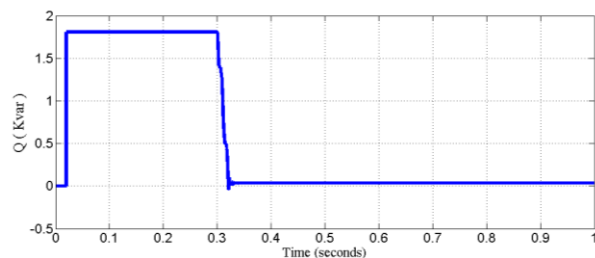


شکل (۵): بلوک دیاگرام فیلتر فعال موازی سه فاز در سیمولینک متلب

در شکل (۶) جبران توان راکتیو همراه با جابجایی ضریب قدرت از مقدار اولیه به مقدار مورد نظر نشان داده شده بطوریکه فیلتر فعال موازی در زمان ۰/۳ ثانیه وارد مدار می شود. قبل از عمل جبران سازی توسط فیلتر فعال موازی سه فاز، میزان توان راکتیو ۱/۸ کیلووار است که این مقدار به علت عدم وجود جبران کننده باید توسط منبع تامین شود. در این شرایط، جریان منبع افزایش می یابد و به علت وجود بارهای غیرخطی در سیستم، میزان THD پارامترهای شبکه زیاد می شود. پس از نصب فیلتر فعال موازی مشاهده می شود که میزان توان راکتیو نزدیک به صفر است، و به عبارت دیگر فیلتر فعال موازی سه فاز، عمل جبران سازی توان راکتیو را (بدون استفاده از بانک خازنی) به خوبی انجام داده است.

### ۱-۳- تغییرات توان در سیستم

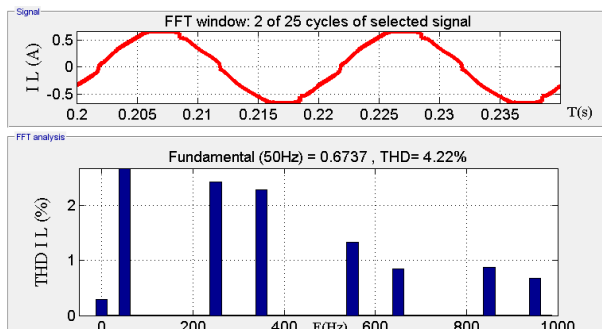
همانطور که در شکل (۷) مشاهده می شود، قبل از عمل جبران سازی توسط فیلتر فعال موازی سه فاز، میزان توان اکتیو ۲/۹ کیلووات است. این مقدار بعد از نصب فیلتر فعال موازی به ۳ کیلووات افزایش پیدا می کند. علت این افزایش مختصر، تلفات سیستم کنترلی و سخت افزاری فیلتر است.



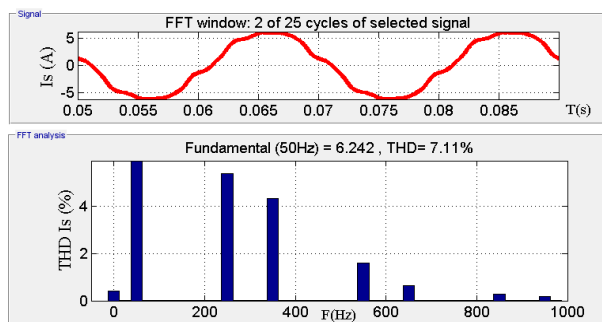
شکل (۶): تغییرات توان راکتیو با استفاده از فیلتر فعال موازی سه فاز

### ۲-۳- اعوجاج هارمونیک در پارامترهای سیستم

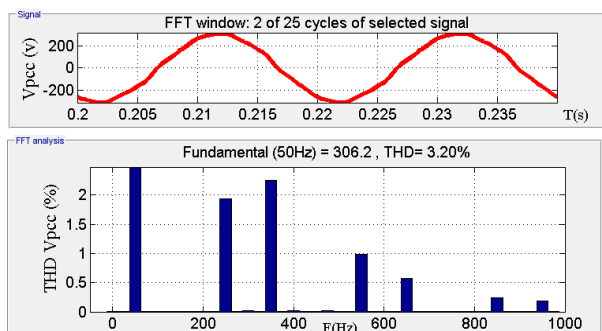
در شکل‌های (۱۲)، (۱۳) و (۱۴) بعد از عمل جبران‌سازی توسط فیلتر فعال موازی سه‌فاز در سیستم اعوجاجی ولتاژ پایین، میزان THD در جریان بار و جریان منبع و همچنین در نقطه اتصال مشترک (فیلتر به سیستم) کاهش پیدا کرده است.



شکل (۱۲): اعوجاج هارمونیک کل در جریان‌های بار با استفاده از فیلتر فعال موازی سه‌فاز

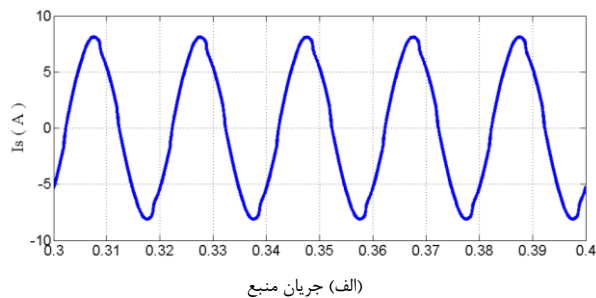


شکل (۱۳): اعوجاج هارمونیک کل در منبع با استفاده از فیلتر فعال موازی سه‌فاز

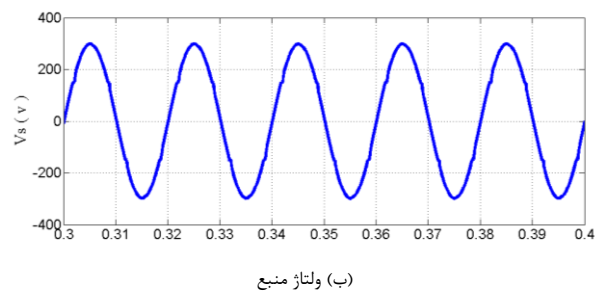


شکل (۱۴): اعوجاج هارمونیک کل در نقطه اتصال مشترک با استفاده از فیلتر فعال موازی سه‌فاز

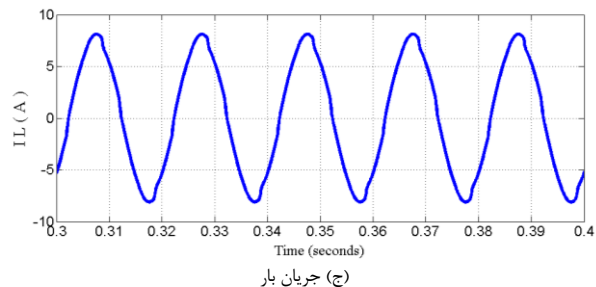
جدول (۱) نتایج حاصل از پارامترهای سیستم مانند جریان منبع، جریان بار و همچنین ولتاژ در نقطه اتصال فیلتر به سیستم است. همانطور که مشاهده می‌شود، در حالت استفاده از فیلتر فعال موازی، مقادیر اعوجاج هارمونیک کل مربوط به پارامترهای بالا، اصلاح و با مقادیر جدول (۲) جدول (۳) یکسان هستند. عدم افزایش جریان منبع و کاهش میزان اعوجاج هارمونیک کل آن دلیلی بر میرایی هارمونیک‌های موجود در



(الف) جریان منبع

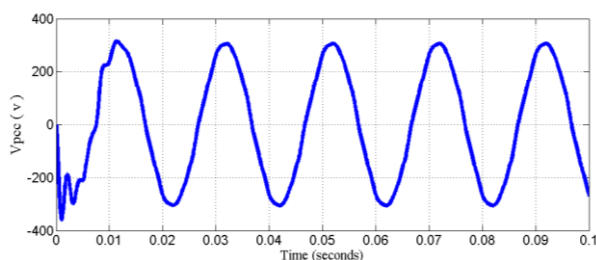
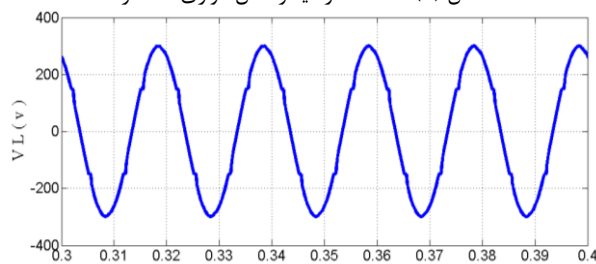


(ب) ولتاژ منبع

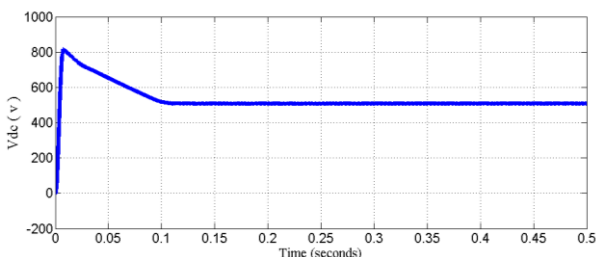


(ج) جریان بار

شکل (۹): استفاده از فیلتر فعال موازی سه‌فاز



شکل (۱۰): در نقطه PCC با استفاده از فیلتر فعال موازی سه‌فاز



شکل (۱۱): ولتاژ لینک DC، در فیلتر فعال موازی سه‌فاز

جبران توان راکتیو و میراسازی هارمونیک‌ها در سیستم اعوجاجی ولتاژ پایین با استفاده از فیلتر فعال موازی سه‌فاز در این مقاله مطالعه شده است. بانک خازنی ترکیبی حذف و جهت تصحیح ضریب قدرت و میرایی همزمان هارمونیک‌ها، از فیلتر فعال موازی سه‌فاز استفاده گردید. در شرایط یکسان هزینه استفاده از یک عدد فیلتر سه‌فاز می‌تواند ارزانتر از سه عدد فیلتر تکفاز باشد. همچنین حذف مجموعه خازنی، جهت بهبود ضریب توان در کاهش میزان سرمایه‌گذاری اولیه سیستم تاثیر قابل توجهی دارد. در بانک خازنی ترکیبی جهت جلوگیری از تشدید هارمونیک‌ها از اینورتر تکفاز استفاده شده است. با استفاده از نتایج شبیه سازی در نرم‌افزار متلب، مقایسه بین فیلترهای فعال تکفاز و سه‌فاز انجام شده است. میزان کاهش اثرات هارمونیک‌ها روی پارامترهای سیستم در هر دو فیلتر فعال تکفاز و فیلتر فعال سه‌فاز قابل قبول است. در اصلاح ضریب قدرت بارخطی ضریب توان تقریباً از حالت اولیه ۰/۶۵ در هر دو حالت ۰/۹۸ رسیده که این مقدار از لحاظ شرکت توزیع برق کاملاً مورد قبول است.

## مراجع

- [1] G. Shahgholian, "A brief Review on Microgrids: Operation, Applications, Modeling, and Control", International Transactions on Electrical Energy Systems, vol. 31, no. 6, Article Number. e12885, June 2021.
- [۲] مهدویان، م.، بهزادفر، ن.، "مروری بر سیستم تبدیل انرژی بادی و کاربرد انواع ژنراتور القایی"، نشریه تحقیقات نوین در برق، دوره: ۸، ش: ۴، ص: ۵۵-۶۶، ۱۳۹۸.
- [3] E. Hosseini and G. Shahgholian, "Partial- or Full-Power Production in WECS: A Survey of Control and Structural Strategies", European Power Electronics and Drives, Vol. 27, No. 3, pp. 125-142, Dec. 2017.
- [4] E. Hosseini and G. Shahgholian, "Different Types of Pitch Angle Control Strategies Used in Wind Turbine System Applications", Journal of Renewable Energy and Environment, vol. 4, no. 1, pp. 20-35, 2017.
- [5] S. Zanjani, Z. Azimi and M. Azimi, "Assesment and analyze hybride control system in distribution static synchronous compensator based current source converter", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 2, no. 7, pp. 59-67, Dec. 2011.
- [6] S. Madanian and S.M.A. Zanjani, "Investigating methods of electronic waste management and recycling of ever-increasing electronic wastes with emphasis on eco-friendly processes", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 11, no. 41, pp. 61-71, June 2020.
- [7] E. Jafari, A. Marjanian, S. Silaymani, G. Shahgholian, "Designing an Emotional Intelligent Controller for IPFC to Improve the transient Stability Based on Energy Function", Journal of Electrical Engineering and Technology, vol. 8, no. 3, pp. 478-489, 2013.
- [8] M. Kamali, B. Fani, G. Shahgholian, G.B. Gharehpetian, M. Shafiee, "Harmonic compensation and micro-grid voltage and frequency control based on power proportional distribution with adaptive virtual impedance method", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 14, no. 53, pp. 33-60, Spring 2023
- [۹] حسینی موسوی، س.ن.، براتی، ح.، "کنترل مستقیم توان همزمان در مبدل‌های سمت شبکه و سمت روتور ژنراتور القایی دو سو تغذیه

سیستم مورد نظر است. قابل توجه است که افزایش  $K$  باعث عدم تشدید هارمونیک‌ها در  $F_7$  و  $F_5$  شده است. در شکل (۱۵) جریان بار و شکل (۱۶) جریان منبع در دو حالت قبل و بعد از نصب فیلتر فعال سه‌فاز نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود تا فاصله زمانی ۰/۲ ثانیه (زمان تاخیر سوئیچ فیلتر فعال) جبران‌سازی صورت نگرفته و شکل موج جریان بار غیرسینوسی است.

جدول (۱): مولفه‌های هارمونیک و اعوجاج کل هارمونیک در بار بدون خازن

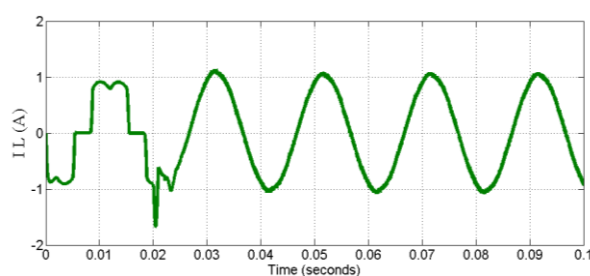
Voltages and currents	Harmonic components			Total harmonic distortion
	1 <sup>th</sup>	5 <sup>th</sup>	7 <sup>th</sup>	
$V_T[V]$	216	4.08	2.21	2.92%
$I_S[A]$	5.94	0.20	0.10	4.33%
$I_L[A]$	5.92	0.20	0.10	4.32%

جدول (۲): مولفه‌های هارمونیک و اعوجاج کل هارمونیک در بار خازن

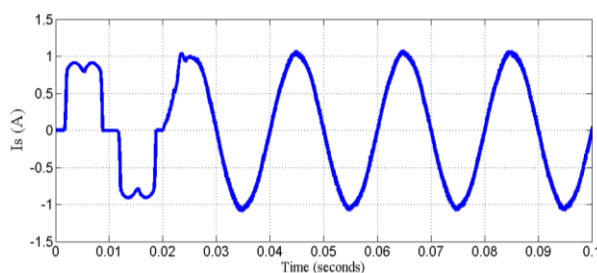
Voltages and currents	Harmonic components			Total harmonic distortion
	1 <sup>th</sup>	5 <sup>th</sup>	7 <sup>th</sup>	
$V_T[V]$	226	14.2	2.92	6.49%
$I_S[A]$	4.47	1.17	0.25	26.9%
$I_L[A]$	6.27	0.16	0.14	4.38%

جدول (۳): مولفه‌های هارمونیک و اعوجاج کل هارمونیک در بار با فیلتر اکتیو شنت

Voltages and currents	Harmonic components			Total harmonic distortion
	1 <sup>th</sup>	5 <sup>th</sup>	7 <sup>th</sup>	
$V_T[V]$	226	4.31	2.43	2.68%
$I_S[A]$	4.40	0.24	0.15	7.30%
$I_L[A]$	6.30	0.24	0.10	4.33%



شکل (۱۵): نمودار جریان بار قبل و بعد از نصب فیلتر فعال سه فاز



شکل (۱۶): نمودار جریان منبع قبل و بعد از نصب فیلتر فعال سه فاز

## ۴- نتیجه‌گیری

- [24] B. N. Rao, Y. Suresh, A. K. Panda, B. S. Naik and V. Jammala, "Development of Cascaded Multilevel Inverter Based Active Power Filter With Reduced Transformers", PSS Trans. on Power Electronics and Applications, vol. 5, no. 2, pp. 147-157, June 2020.
- [25] A. Baktash, A. Jalilian and A. Vahedi, "Direct Power Control of Reduced Switch Active Filters", Proceedings of IEEE/ICHQP, pp. 1-5, 2010.
- [26] P. Jintakosonwit, H. Fujita and H. Akagi, "Control and Performance of a Fully-Digital-Controlled Shunt Active Filter for Installation on a Power Distribution System", IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 17, no. 1, pp. 132-140, Jan. 2002.
- [27] A. Tilli and C. Conficoni, "Control of Shunt Active Filter Whit Actuation and Current Limits", IEEE Trans. on control system Technology, vol. 24. no. 2, pp. 644-633. March 2016.
- [28] P. Jintakosonwit, H. Fujita and H. Akagi and S. Ogasawara, "Implementation and Performance of Cooperative Control of Shunt Active Filter for Harmonic Damping Throughout a Power Distribution system", IEEE Trans. on industrial Application, vol. 39. no. 2, pp. 556-564. Mar./Apr. 2003.
- [29] N. Babu, P.J.M. Guerrero, P. Siano, R. Peesapati and G. Panda, "An Improved Adaptive Control Strategy in Grid-Tied PV System with Active Power Filter for Power Quality Enhancement", IEEE Systems Journal, vol. 15, no. 2, pp. 2859-2870, June 2021.
- در توربین‌های بادی با حذف هارمونیک‌های جریان شبکه"، نشریه تحقیقات نوین در برق. دوره: ۸، ش: ۳، ص: ۳۷-۵۱، ۱۳۹۸.
- [۱۰] دانشی، ف.، براتی، ح.، "بهبود کیفیت توان با استفاده از فیلتر سلفی کنترل شده، هنگام بکارگیری کوره القایی دوازده پالسه"، نشریه تحقیقات نوین در برق، سال: ۸، ش: ۱، ص: ۱۱-۱۶، ۱۳۹۹.
- [11] M. Narimani and G. Moschopoulos, "A New Single-Phase Single-Stage Three-Level Power-Factor-Correction AC-DC Converter with Phase-Shift Modulation", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 60, no. 9, pp. 3731-3735, Sept. 2013.
- [12] X. Liu, W. Liu, M. He, W. Wang, Q. Zhou and J. Xu, "Boost-Type Single-Stage Step-Down Resonant Power Factor Correction Converter", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 68, no. 9, pp. 8081-8092, Sept. 2021.
- [13] Y. Lo, T. Lee and K. Wu, "Grid-Connected Photovoltaic System with Power Factor Correction", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 55, no. 5, pp. 2224-2227, May 2008.
- [14] J. Qian, F.C. Lee and T. Yamauchi, "Charge Pump Power-Factor-Correction Dimming Electronic Ballast", IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 14, no. 3, pp. 461-468, May 1999.
- [15] H. E. Tacca, "Power Factor Correction Using Merged Flyback-Forward Converters", IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 15, no. 4, pp. 585-594, July 2000.
- [16] J. Kwon, W. Choi and B. Kwon, "Cost-Effective Boost Converter with Reverse-Recovery Reduction and Power Factor Correction", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 55, no. 1, pp. 471-473, Jan. 2008.
- [17] D. Salles, C. Jiang, W. Xu, W. Freitas and H. E. Mazin, "Assessing the Collective Harmonic Impact of Modern Residential Loads—Part I: Methodology", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 27, no. 4, pp. 1937-1946, Oct. 2012.
- [18] A. Varschavsky, J. Dixon, M. Rotella and L. Morán, "Cascaded Nine-Level Inverter for Hybrid-Series Active Power Filter, Using Industrial Controller", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 57, no. 8, pp. 2761-2767, Aug. 2010.
- [19] B. Singh, K. Al-Haddad and A. Chandra, "A Review of Active Filters for Power Quality Improvement", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 46, no. 5, pp. 960-971, Oct. 1999.
- [20] B. Singh, K. Al-Haddad and A. Chandra, "A Review of Active Filters for Power Quality Improvement", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 46, no. 5, pp. 960-971, Oct. 1999.
- [۲۱] مهدویان، م.، جباری، م.، "طراحی و ساخت یک فیلتر اکتیو قدرت موازی با توان دو کیلووات جهت افزایش کیفیت توان سیستمهای با آلودگی هارمونیک"، روش‌های هوشمند در صنعت برق، سال: ۱، ش: ۴، ص: ۲۵-۳۲، ۱۳۸۹.
- [۲۲] مرادیان، م.، رحیمی، خ.، پاکدل، م.، "یک فیلتر قدرت اکتیو شنت سه فاز چهار سیمه با سویچینگ نرم جدید"، روش‌های هوشمند در صنعت برق، سال: ۱، ش: ۲، ص: ۵۹-۶۵، ۱۳۸۹.
- [۲۳] عزتی، ح.، یزدیان‌ورجانی، ع.، "به کارگیری فیلتر فعال قدرت موازی بر مبنای آشکارسازی ولتاژ در یک فیدر شعاعی توزیع با هدف کاهش مؤثر پدیده‌های انتشار هارمونیک و Whack-a-mole"، روش‌های هوشمند در صنعت برق، سال: ۳، ش: ۱۱، ص: ۲۷-۴۰، ۱۳۹۱.

## رزومه

**کوروش اسماعیلی** تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد واحد نجف آباد (۱۳۸۸) و کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد (۱۳۹۵) اخذ نموده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه ماشین‌های الکتریکی و کیفیت توان است.



**امیر بکتاش** تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- الکترونیک از دانشگاه یزد (۱۳۸۴)، کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت و دکتری مهندسی برق- قدرت را به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۴ از دانشگاه علم و صنعت اخذ نموده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی

ایشان در زمینه ماشین‌های الکتریکی، سیستم‌های توان پالسی، الکترونیک قدرت و کیفیت توان است و در حال حاضر استادیار دانشکده مهندسی برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد است.

# Study and Simulation of the Effect of Three-Phase Parallel Active Filter in Low Voltage Distortion Power Systems

Koorosh Esmaili<sup>1,3</sup>, Amir Baktash<sup>2,3</sup>

1- MSc- Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

2- Assistant Professor- Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran, amir.baktash@gmail.com

3- Smart Microgrid Research Center, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

**Abstract:** Active shunt filters compensate for current harmonics by injecting equal but opposite harmonic compensating current. The active shunt filter acts as a current source that injects the harmonic components produced by the load, but its phase is shifted 180 degrees. In this paper, the performance of a three-phase parallel active filter without the use of a capacitive bank is investigated and the results are evaluated technically and economically. Simulation results have been obtained using Simulink in MATLAB software. The simulation results show that the power factor correction is done without any harmonic resonance and the source is the only active power generator and the reactive power compensator is responsible.

**Keywords:** Active filter, power factor correction, distribution network, total harmonic distortion