

## کنترل فیلتر اکتیو موازی با استفاده از الگوریتم حداقل میانگین مربعات

مهرداد شهرکی<sup>۱</sup>، فرامرز فقیهی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد زاهدان، زاهدان، ایران Mehrrsa.shahraki@yahoo.com

<sup>۲</sup>دانشگاه آزاد، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مهندسی برق، تهران، ایران Faramarz\_faghihi@hotmail.com

چکیده - فیلتر های اکتیو قدرت موازی، جهت حذف هارمونیک ها در شبکه هایی با بارهای غیرخطی، بکار می روند. همچنین روش های مختلفی برای کنترل این نوع فیلتر از جمله شبکه عصبی، پیشنهاد و اجرا شده است. مقاله حاضر با بکارگیری الگوریتم *LMS* یابۀ عبارتی با استفاده از توابع الگوریتم ذکر شده، به آموزش مدار کنترل پرداخته است. حضور الگوریتم حداقل میانگین مربعات در مدار کنترل، سبب بهبودی و عملکرد متفاوت فیلتر، همراه با تزریق جریان سینوسی با *THD* مناسب به شبکه شده است. این روش در حضور بار غیر خطی و با نرم افزار *MATLAB* شبیه سازی شده و نتایج بدست آمده از آن، مورد بررسی قرار گرفته است. کلید واژه- الگوریتم *LMS*، شبکه عصبی، فیلتر اکتیو قدرت موازی

دارند. در مقاله حاضر با استفاده از شبکه عصبی به محاسبه جریان مرجع پرداخته است. شبکه های عصبی بدلیل دو ویژگی بارز: یادگیری براساس داده های تجربی و پردازش موازی از اهمیت خاصی در قدرت پیش بینی بالا و کاهش تاخیر در دستیابی به پاسخ، برخوردار هستند. هدف مقاله طراحی یک مدار کنترلی، در جهت یافتن جریان فیلتر برای کاهش هارمونیک های جریان میباشد. در بخش های بعدی به ساختار فیلتر و مدار کنترلی پرداخته شده است.

### ۱- مقدمه

ادوات و تجهیزات الکترونیک قدرت، جزء اصلی در سیستم های الکترونیکی مدرن امروزه هستند. ادوات الکترونیکی مانند: لامپ فلوروسنت، کوره های قوس الکتریکی، منابع تغذیه سوئیچینگ یا الکترونیکی دارای جریانی غیرسینوسی اند، با عبارتی دارای مؤلفه هارمونیک هستند. وجود هارمونیک ها در شبکه اثرات ناخواسته ایی از جمله: گرما، آسیب رساندن به تجهیزات، کاهش راندمان و در نهایت کاهش کیفیت توان در یک شبکه می گردد. فیلتر های پسیو و اکتیو، نوعی از ادوات کاهش دهنده هارمونیک ها می باشند. فیلترهای پسیو به علت ایجاد رزونانس در شبکه، کمتر مورد استفاده قرار می گیرند. فیلترهای اکتیو بدلیل نصب آسان، پایین بودن هزینه اجرایی، توانایی کاهش انتشار هارمونیک در یک تغذیه کننده ی اغتشاشی یا در بین دو تغذیه کننده، فراهم کننده ی ایمنی در محیطی از بارهای هارمونیک و. با توجه به مزایای ذکر شده، استفاده از فیلتر اکتیو روز به روز در حال افزایش می باشد. روش های کنترلی مختلفی از جمله کنترل کننده  $PI$  [۱]، فیلتر توان وقفی [۲]، که برای محاسبه جریان مرجع فیلتر، نیاز به محاسبات بسیاری

شکل ۱: مبانی عملکرد و ساختار فیلتر اکتیو موازی پیشنهادی [۴].

## ۲- فیلتر اکتیو قدرت موازی (SAPF) <sup>۱</sup>

یکی از بهترین فیلترهای توان اکتیو، نوع موازی آن می باشد. اساس کار این نوع فیلتر بر پایه تزریق جریان جبران ساز به شبکه می باشد، به نوعی مانند یک منبع جریان، که بصورت موازی با بار غیرخطی متصل شده است، عمل میکند. مدار قدرت یک SAPF بطور معمولی شامل: واحد ذخیره انرژی Dc، مبدل Dc/Ac، فیلتر هارمونیک و مدار کنترلی می باشد. شکل (۱) اصول عملکرد و ساختار فیلتر اکتیو موازی پیشنهادی را نشان میدهد.

### ۲-۲- مبدل Dc/Ac

در این قسمت از منبع اینورتر ولتاژ (VSI) <sup>۲</sup>، تنظیم شده با خازن Dc، جهت حفاظت و تبدیل پل قدرت لازم، برای شارژ خازن در هر زمانی که ولتاژ آن از ولتاژ منبع کمتر شود، بکار می رود. در این مبدل از سوئیچ های IGBT <sup>۳</sup> فاز استفاده شده است.

### ۲-۳- فیلتر هارمونیک

اندوکتانس های  $L_{fi}$  برای هر سه فاز، عملیات بالا کشیدن ولتاژ در ترکیب با خازن را اجرا می کنند، و در هر زمان بعنوان فیلتر پایین گذر برای جریان منبع Ac رفتار می کند. اندوکتانس ها برای فیلترینگ خروجی (VSI) بکار می روند. [۳].

### ۳- مدار کنترلی پیشنهادی

دو ویژگی بارز شبکه های عصبی، یادگیری براساس داده های تجربی و همچنین قابلیت پردازش موازی در محاسبات، سبب شده که در مدار کنترلی پیشنهادی، شبکه عصبی بکار رود. برتری شبکه های عصبی نسبت به سایر روش های محاسباتی، کاهش پیچیدگی محاسبات جریان مرجع می باشد. به چند مزیت حاصل از بکارگیری شبکه عصبی در مدار کنترل می توان اشاره کرد [۵]:

۱- قابلیت تطبیق یافتن با جریان های بار

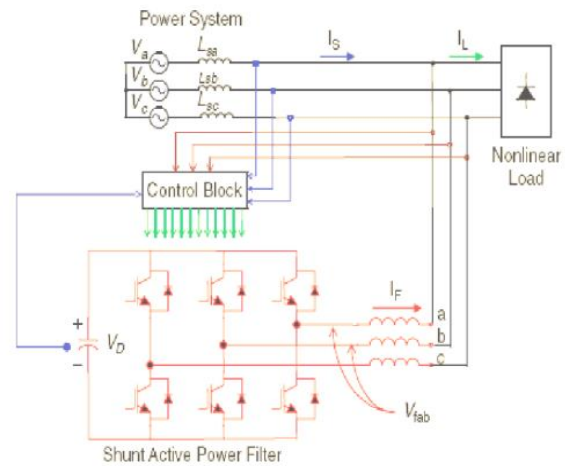
۲- پیاده سازی آسان، بدلیل روند قیاسی محاسبات

۳- کاهش تاخیر زمانی در محاسبات

۴- قابلیت تشخیص جریان های هارمونیک، راکتیو، توانی

## ۲-۱- ذخیره انرژی Dc

خازن Dc به عنوان یک المان ذخیره کننده انرژی راکتیو و همچنین حمل کننده ریپل جریان ورودی اینورتر می باشد. ولتاژ باس Dc می بایست بزرگتر از پیک ولتاژ منبع باشد. کنترل ولتاژ به دو روش PI و PID [1] امکان پذیر است. در مقاله حاضر کنترل کننده PI، جهت کنترل بکار رفته است.



<sup>۲</sup> - Insulated Gate Bipolar Transistor

<sup>۱</sup> - Shunt Active Power Filter

<sup>۲</sup> - Voltage Source Inverter

۱۳۹۴-۲۰ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراگان)

صفر و منفی

معادلات (۴) و (۵)، ما به دنبال تقریب بیشترین کاهش هستیم، لذا بر مبنای هدف خواسته شده، الگوریتم LMS برای آموزش شبکه، انتخاب شده است. دو معادله یادگیری LMS تغییر وزن و بایاس بصورت زیر است [۵]:

$$\begin{aligned} W(k) &= W(k-1) + \eta e(k-1)p(k-1) \\ b(k) &= b(k-1) + \eta e(k-1) \end{aligned} \quad (6)$$

$W(k-1)$  مقدار اولیه تابع وزن که برابر با صفر است، مقدار آینده تابع وزن، و  $e(k)$  هم خطای بین جریان بار و جریان اکتیو می باشد. بعبارتی  $e = i_c$  است.  $p(k-1)$ ، ورودی شبکه، و  $b(k)$  بایاس شبکه است که صفر در نظر گرفته شده است.  $\eta$  در واقع ضریب همگرایی شبکه می باشد که وظیفه کنترل پایداری و سرعت همگرایی را دارد. اگر  $\eta$  به اندازه کافی بزرگ باشد، یادگیری سریعتر انجام میشود، اما اگر خیلی بزرگ انتخاب شود، باعث بی ثباتی روال آموزش و افزایش خطا می شود.

مهمترین گام در استفاده از شبکه های عصبی، تعیین ورودی و خروجی شبکه است. زیرا انتخاب مناسب ورودی و خروجی سبب سهولت در محاسبات و رسیدن به هدف مورد نظر میشود. ورودی های شبکه عصبی ولتاژ منبع  $v_s(t)$  و جریان بار  $i_l(t)$ ، و خروجی  $i_p(t)$  جریان اکتیو می باشد.

فرض بر آن است که ولتاژ منبع سینوسی باشد:

$$V_s(t) = V_m \sin(\omega t) \quad (1)$$

و بار شبکه، غیر خطی باشد، در این صورت جریان بار برابر است با:

$$i_l(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_n \sin(n\omega t + \phi_n) \quad (2)$$

جریان بار را می توان به ترتیب زیر به مولفه های اکتیو، راکتیو و هارمونیک تقسیم کرد:

$$\begin{aligned} i_l(t) &= I_1 \cos \phi_1 \sin(\omega t) + I_1 \sin \phi_1 \cos(\omega t) \\ &+ \sum_{n=2}^{\infty} I_n \sin(n\omega t + \phi_n) \\ &= i_p(t) + i_q(t) + i_h(t) \end{aligned} \quad (3)$$

حال می توان معادلات مربوط به مدار کنترلی پیشنهادی را حدس زد:

$$\begin{aligned} W(k) &= W(k-1) + \eta i_c(k-1) V_s(k-1) \\ i_c(k) &= i_l(k) - W(k) V_s(k) \end{aligned} \quad (7)$$

در بار های غیر خطی متعادل، مقدار  $W$  برای هر سه فاز یکسان خواهد بود. اما در حالت نامتعادل، مشخصه های نامتعادل شده بار، به جریان های بار انتقال خواهند یافت و دیگر مقدار  $W$  هر فاز، در شرایط یکسانی نخواهند بود. اگر ولتاژهای منبع، متعادل باشند، بدین ترتیب با استفاده از روش مولفه های تقارنی، می توان جریان های توالی مثبت اکتیو را بدست آورد:

$$i_{pA} = W^* V_{SA} \quad (8)$$

$$i_{pB} = W^* V_{SB} \quad (9)$$

$$i_{pC} = W^* V_{SC} \quad (10)$$

$$W^* = \frac{(W_A + W_B + W_C)}{3} \quad (11) \quad \text{و}$$

اما اگر ولتاژهای منبع، نامتعادل می بودند، دیگر ورودی شبکه عصبی، ولتاژها نبودند ولیکن ورودی می بایست دارای شکل موج سینوسی وهم فاز با ولتاژ باشد. با توجه به بلوک دیاگرام مدار کنترلی نشان داده شده در شکل (۲)، جریان  $I_{cr}$  برای هر فاز بصورت:

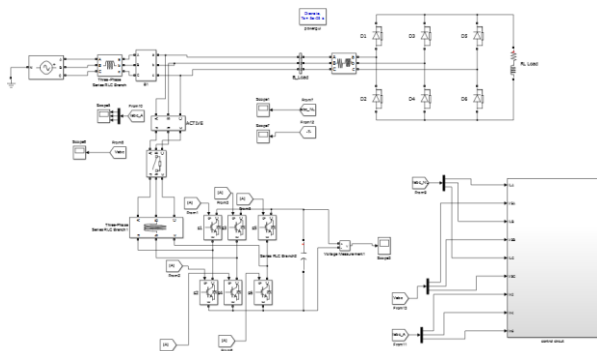
اگر فیلتر بتواند جریان  $i_c$  را تولید کند که با حاصل جمع  $i_q(t) + i_h(t)$  برابر باشد، بنظر میرسد که برای تغذیه جریان اکتیو  $i_p(t)$ ، نیازمند به یک شکل موج سینوسی وهم فاز با ولتاژ  $V_s(t)$  است. بعبارتی می توان  $i_c$  را بصورت زیر نوشت:

$$\begin{aligned} i_c(t) &= i_l(t) - i_p(t) \\ &= i_l(t) - W V_s(t) \end{aligned} \quad (4)$$

$$W = \frac{I_1 \cos \phi_1}{V_m} \quad (5)$$

اساسی ترین بخش شبکه عصبی تابع وزن و بایاس می باشد. مقدار  $W$  بدست آمده در رابطه (۵)، مقدار تابع وزن شبکه است. در فرضیات شبکه عصبی مقدار اولیه  $W$  برابر با صفر و نیز مقدار بایاس را صفر در نظر گرفتیم. پس از تعیین ورودی و خروجی شبکه، به آموزش شبکه پرداخته شده است. با توجه به

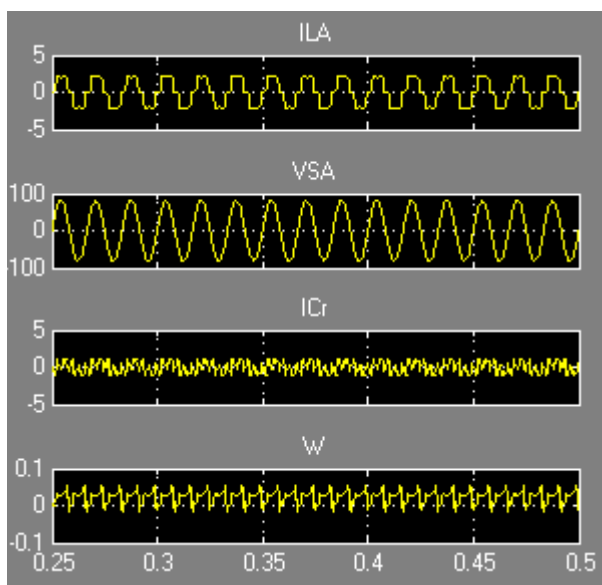
۱۳۹۴-۲۰ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)



شکل (۳): شمایی از فیلتر اکتیو موازی پیشنهاد شده.

#### ۴- نتایج شبیه سازی

شبیه سازی مدار کنترلی با الگوریتم LMS و فیلتر اکتیو قدرت موازی، با نرم افزار MATLAB اجرا و پیاده سازی شده است. نتایج اسکوپ های مدار کنترلی در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل (۴): نتایج اسکوپ مدار کنترل

مشاهده می شود که جریان بار غیر خطی، ولتاژ منبع سینوسی و تابع وزن بدلیل بررسی شبیه سازی در حالت پایدار، دارای تغییرات ثابتی است. اما تاثیر جریان جبران ساز بر روی جریان شبکه در شکل (۵) نمایان است.

$$i_{crA}(t) = i_{lA} - i_{pA} \quad (12)$$

$$i_{crB}(t) = i_{lB} - i_{pB} \quad (13)$$

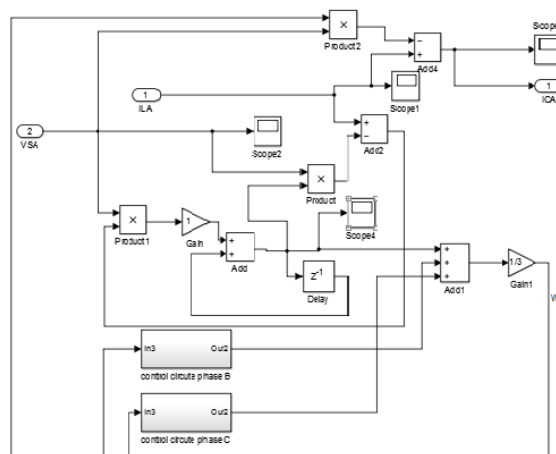
$$i_{crC}(t) = i_{lC} - i_{pC} \quad (14)$$

و در نتیجه جریان های اکتیو ۳ فاز برابر است با:

$$i_{pA} = W^* \sin(\omega t) \quad (15)$$

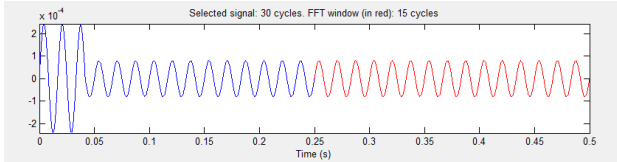
$$i_{pB} = W^* \sin(\omega t - 120^\circ) \quad (16)$$

$$i_{pC} = W^* \sin(\omega t - 240^\circ) \quad (17)$$

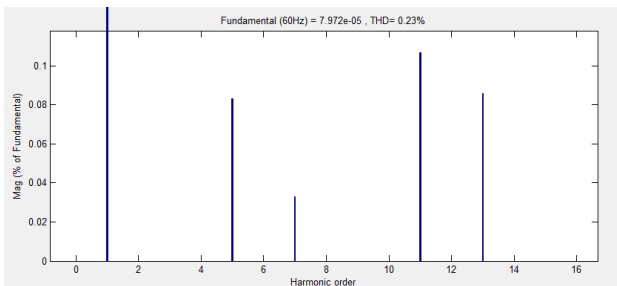


شکل (۲): روش کنترلی براساس الگوریتم LMS.

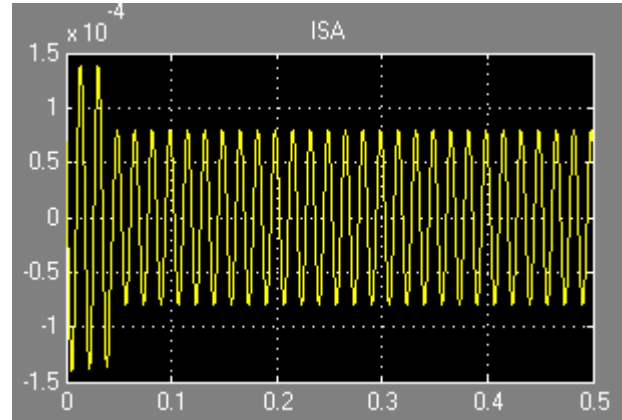
پس از اجرای مدار کنترلی پیشنهادی، وارسال جریان خروجی مورد نظر، نوبت به عملکرد فیلتر می رسد. جریان ac تولید شده، جهت پیروی از جریان مرجع شبکه عصبی، که از مدار پیشنهادی نیز حاصل شده، بوسیله اینورتر تر تحمیل شده است. در مدار شکل (۳) واحد کنترل ولتاژ و ولتاژ Dc رادر یک مقدار ثابت نگه می دارد. در این صورت فیلتر با توجه به جریان تحمیلی از سوی شبکه عصبی، به تزریق جریانی می پردازد که سبب سینوسی شدن جریان شبکه واز همه مهمتر کاهش هارمونیک های شبکه میگردد. بگونه ایی که THD جریان شبکه تا مقدار قابل توجهی کاهش می یابد.



(c-۶)

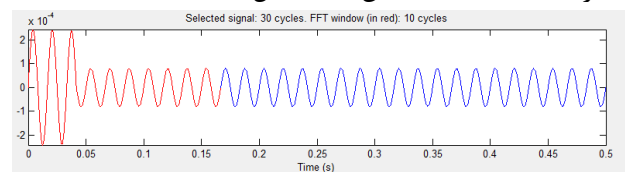


(d-۶)

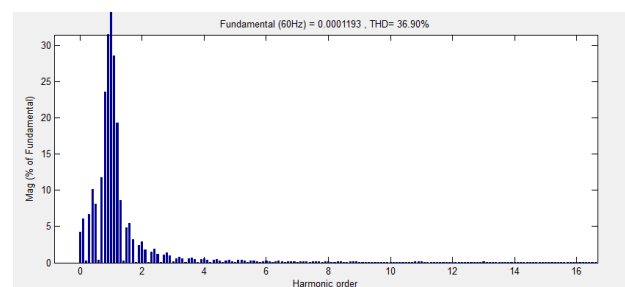


شکل (۵): جریان شبکه در فاز A.

با توجه به آنچه که در Isa دیده می شود، در لحظات اولیه دارای اعوجاج بوده و با گذشت زمان اعوجاج کاهش یافته است. باید توجه داشت که شروع پاسخگویی مدار، آنچه که در نمودار W قابل رویت است، در زمان ۰٫۲۵ ثانیه می باشد. می توان با بررسی میزان THD جریان به مزیت طراحی فیلتر اکتیو موازی کنترل شده با الگوریتم LMS پی برد. با بررسی در زمان شروع  $t=0$  و ۱۰ سیکل متوالی شکل (a۶)، مقدار THD محاسبه شده برابر با ۳۶٫۹۰٪، شکل (b۶)، ولیک اگر زمان شروع را از ۰٫۲۵ ثانیه در نظر بگیریم و تعداد سیکل نهایی قابل بررسی را ۱۵، شکل (c۶)، مقدار THD به ۰٫۲۳٪ کاهش یافت. شکل (d۶)



(a-۶)



(b-۶)

## ۵- نتیجه گیری

در مقاله حاضر روشی جدید، جهت کنترل جریان مرجع، مبتنی بر شبکه عصبی با بکارگیری الگوریتم LMS، جهت آموزش شبکه، صورت گرفته است، در نهایت منجر به طراحی فیلتر اکتیو موازی گردیده است. با توجه به نتایج بدست آمده، می توان گفت این روش و طراحی، تاثیر بسزایی در تزریق جریان سینوسی با اعوجاج هارمونیک پایین دارد.

## مراجع

- [1] Viki s.patel, m.tech scholare, "power quality improvement using Active shunt power filter using PI controller". International Journal of Engineering Development and Research. India. pp.885-890, 2014
- [2] L.H.Tey, P.L.SO, Y.C.CHO, "Improvement of power quality using Adaptive Shunt Active Filter," IEEE Transactions on power delivery, Vol.20, NO.2, pp.1558-15568, 2005
- [3] Ahmet TEKe, M.Emin MERAL, "Active power filter: Review of converter topologies and control strategies", Gazi University Journal of Science, 24(2), pp.283-289, 2011
- [4] G.Sathish Goud, A.L.Joshi, "Artificial neural network controlled shunt active power filter for power quality improvement", IRJET, Vol.02, pp.377-382, 2015