

نگرشی نو در چگونگی بکار گیری فیلترهای هیبرید

¹ علی اکبر دنکوب - ² حسن رستگار - ³ علی اصغر قدیمی

¹ دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک - ² دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده مهندسی برق - قطب قدرت -

³ دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه اراک

واژه‌های کلیدی: شبکه عصبی RBF، فیلتر هیبرید، فیلتر اکتیو، فیلتر پسیو، حذف هارمونیک جریان، هیستریزس

چکیده

در این مقاله از یک توپولوژی جدید برای حذف هارمونیک متبی بر فیلترهای هیبرید پیشنهاد شده است. سیستم پیشنهاد شده مشخصات بهتری در مقایسه با توپولوژی های فیلتر هیبرید معمولی دارد و برای اغتشاشات هارمونیکی و بارهای غیر خطی فیلتری مناسب است. در فیلتر هیبرید بکار برده شده، فیلتر پسیو برای حذف هارمونیک های با فرکانس بالا (۱۱، ۱۳، ۱۵ و ۱۷) و فیلتر اکتیو برای حذف هارمونیک های با فرکانس پایین (۵ و ۷ و ۹) طراحی شده است. در فیلتر فعال، شبکه عصبی RBF^۱ برای تخمین جریان های هارمونیکی بکار میرود تا بطور اتوماتیک و با سرعت عمل بالا با هرگونه تغییری در بارهای غیر خطی و هارمونیک های تولید شده جریان های جبران سازی مرجع را تخمین زند و این جریان توسط اینورتر که با تعریف باندهای هیستریزس^۲ کنترل می

شوند تولید می گردد. با شبیه سازی در محیط Simulink نرم افزار Matlab نشان داده شده است که کنترل کننده طراحی شده بر پایه شبکه عصبی RBF می تواند به خوبی نیازهای مورد نظر را برآورده سازد.

۱- مقدمه

اتصال بارهای غیر خطی و عدم تعادل در شبکه سه فاز موجب ایجاد هارمونیک و افت ولتاژ هارمونیکی و در نهایت باعث تلفات خواهد شد. استفاده از فیلتر های پسیو همواره به عنوان روشی موثر برای جبران توان راکتیو و بهبود ضریب توان بارهای غیر خطی سیستم قدرت محسوب می شود [۱]، یکی از بزرگترین محاسن فیلترهای پسیو، قیمت بسیار کم آنها می باشد، اما به دلیل عدم سازگاری با تغییرات دینامیکی بارهای غیر خطی و احتمال تشدید هارمونیک ها به دلیل نوسان سری موازی بین امپدانس فیلتر و امپدانس منبع همچنین تولید توان راکتیو در اثر عدم طراحی مناسب و یا قطع ناگهانی آن در بارهای کم موجب افزایش ولتاژ در محل

¹ Radial Basis Function

² Hysteresis Band

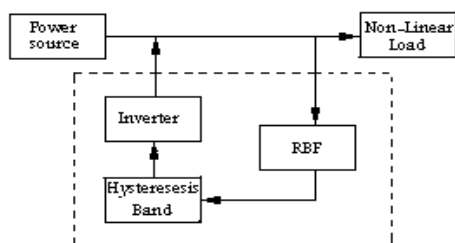
بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

موازی بکار گرفته شده است و هارمونیک‌های (۹و۷و۵) را به کمک فیلتر اکتیو حذف می‌نماییم.

C(μ)	L(mH)	
۲۶/۹۳	۲/۸۶	هارمونیک ۱۱
۱۹/۹۶	۲/۰۵	هارمونیک ۱۳
۱۵/۳۶	۱/۶۳	هارمونیک ۱۵
۱۴/۷۶	۱/۰۶	هارمونیک ۱۷

جدول (۱)-مقادیر L و C فیلتر پسیو برای حذف هارمونیک‌های مختلف

اصول کلی فیلتر فعال بر پایه تزریق جریان‌های هارمونیکی مورد نیاز بار در اتصال مشترک (pcc)^۴ بنا نهاده شده است که در شکل (۲) نشان داده شده است. اندازه جریان به اندازه‌گیری صحیح جریان و ولتاژ بار، محاسبه جریان جبران‌کننده و استراتژی کلید زنی فیلتر به نحوی که جریان مرجع مورد نیاز ساخته شود بستگی دارد [۶]. در مقاله حاضر روشی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین جریان‌های هارمونیکی ارائه گردیده است. بدلیل قابلیت پردازش موازی شبکه‌های عصبی، تاخیر در محاسبه تخمین جریان‌های هارمونیکی می‌تواند به شدت کاهش یابد [۷].



شکل (۲)- ساختار فیلتر فعال

همچنین پارامترهای فیلتر فعال بکار برده شده در جدول (۲) آورده شده است.

جدول (۲)- پارامترهای فیلتر فعال

Generator line voltage	200Vrms
Generator frequency	50Hz
Source inductance	0.1mH
Filter inductance, Lf	4.5mH
Filter DC capacitor, CDC	15 μ F
DC reference voltage, Vdcr	700V

^۴ Point of Common Coupling

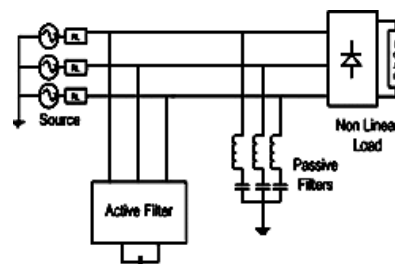
اتصال شبکه می‌شود، یکی دیگر از معایب فیلترهای پسیو ابعاد بزرگ آن است [۲و۳].

با توجه به معایب گفته شده و با پیشرفت قابل ملاحظه در کلیدهای قدرت سریع مانند GTO^۱ و IGBT^۲، جایگزینی فیلترهای اکتیو به جای فیلترهای پسیو و مزایای فراوان فیلترهای اکتیو در حذف و کاهش هارمونیک‌های ولتاژ و جریان بار در شبکه‌های قدرت مورد توجه و کاربرد عملی فراوان قرار گرفته است [۴].

۲- فیلتر هیبرید^۳

به منظور بهره‌گیری از مزایای هر دو نوع فیلتر از ترکیب دو فیلتر اکتیو و پسیو و به کار بردن همزمان آنها در سیستم‌های قدرت که با نام هیبرید موسوم می‌باشد، استفاده گردیده است. این فیلترها مزایای هر دو فیلتر اکتیو و پسیو را همزمان داشته ولی معایب آنها را ندارند [۵]. قیمت کم و بازده بیشتر نیز از دیگر ویژگیهای این نوع فیلترها می‌باشد [۵].

ساختارهای بسیار متنوعی برای فیلترهای هیبرید پیشنهاد شده است که در این مقاله از فیلتر هیبرید موازی مطابق شکل (۱) استفاده شده است.



شکل (۱) - ساختار فیلتر هیبرید موازی

با توجه به ساختار سیستم و بررسی هارمونیک‌های موجود در آن مقادیر فیلتر پسیو مانند جدول (۱) انتخاب شده است، اما از آنجاییکه از فیلتر پسیو برای حذف هارمونیک‌های (۱۱ و ۱۳ و ۱۵ و ۱۷) استفاده می‌شود، چهار شاخه فیلتر پسیو

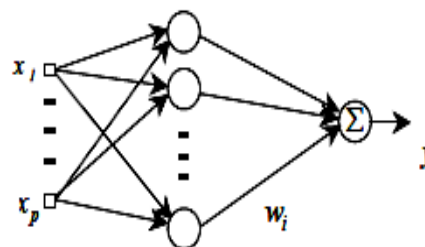
^۱ Gate Turn Off (thyristor)

^۲ Insulated Gate Bipolar Transistor

^۳ Hybrid Filter

۳- شبکه عصبی RBF

یکی از قدرتمندترین شبکه‌های عصبی مورد استفاده در مسائل تخمین، شبکه عصبی RBF است. شبکه RBF از سه لایه ثابت تشکیل شده است. لایه ورودی که محل تزریق سیگنال‌های ورودی به شبکه است؛ لایه میانی یا طبقه RBF که شامل توابع RBF می‌شود، و لایه خروجی که ترکیبی خطی از کلیه خروجی‌های طبقه RBF را می‌سازد. ساختمان یک شبکه RBF در شکل (۳) مشاهده می‌شود. عملیاتی که در این شبکه انجام می‌شود در فرم ماتریسی به صورت (۱) و (۲) و (۳) است [۹، ۸].



شکل (۳) - ساختار شبکه عصبی RBF

(۱)

$$\phi_j(x) = \exp\left[-\frac{\|x - c_j\|^2}{2\sigma_j^2}\right], (j=1,2,\dots,n)$$

$$\varphi_j = \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_j^2}\|p - c_j\|^2\right) \quad (۲)$$

$$d_i(p) = \sum_{j=1}^N \varphi_j(p) \cdot w_{ij} \quad (۳)$$

که در آن $d_i(p)$ خروجی نام شبکه φ_j و خروجی گره RBF نام به ازای بردار ورودی p است، w_{ij} نیز اتصال سیناپسی میان آن دو است. تعداد کل نورون‌های لایه پنهان نیز N است بردار c_j را مرکز گوسی می‌نامیم و σ_j نیز مشخص‌کننده میزان گستردگی گوسی است. وجود یکسان بودن نمونه‌های ورودی - خروجی بکار رفته در تعلیم شبکه‌های عصبی دیگر، شبکه عصبی از نوع RBF بهتر تعلیم دیده و دارای عملکرد بهتری می‌باشد [۸]. میزان خطای شبکه RBF هم در شرایط گذرا و تغییرات شدید و هم در حالت

پایدار کمتر از شبکه‌های دیگر است [۹]. مزیت دیگر شبکه‌های RBF به شبکه‌های دیگر زمان طراحی کوتاه‌تر آن است [۹].

۴- تخمین جریان‌های هارمونیک توسط شبکه عصبی

روش‌های متعددی جهت شناسایی و استخراج هارمونیک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند که به روش‌های حوزه فرکانس، زمان و زمان-فرکانس تقسیم می‌شوند. در این بین روش‌های تبدیل فوری (FFT) [۱۰] و شبکه عصبی (ANN) [۱۱] در حوزه فرکانس، تئوری قاب مرجع (SRF) [۱۲] و تئوری توان اکتیو و راکتیو لحظه‌ای (p-q) [۱۳] در حوزه زمان و روش‌های دیگر متنوعی وجود دارند. عمده این روش‌ها به محاسبات نسبتاً زیادی برای رسیدن به جریان مرجع فیلتر نیاز دارند و اکثراً جریان مورد نظر را با تاخیر محاسبه می‌کنند [۱۴].

در این روش جریان بار را می‌توان شامل تمام هارمونیک‌ها از جمله هارمونیک اصلی در نظر گرفت که هارمونیک اصلی آن از شبکه تامین می‌شود و بقیه هارمونیک‌های بار همان جریان مرجع فیلتر اکتیو خواهند بود. از طرفی فرکانس تغییرات هارمونیک‌های غیر اصلی در بار بالاتر بوده و تعداد و مقدار این هارمونیک‌ها نیز در حالت کلی مشخص نیست، بنابراین انتخاب این هارمونیک‌ها به عنوان هدف (خروجی) شبکه عصبی مناسب به نظر نمی‌رسد. ولی اگر یافتن هارمونیک اصلی بار را بعنوان هدف (خروجی) شبکه عصبی در نظر بگیریم، این هدف بهتر خواهد بود و بسادگی می‌توان با داشتن جریان بار و هارمونیک اصلی مربوطه، مجموع سایر هارمونیک‌های آنرا بدست آورد. بنابراین هارمونیک اصلی بار به عنوان خروجی مورد نظر شبکه عصبی انتخاب کرد و ورودی‌های شبکه عصبی نمونه‌های جریان اندازه‌گیری شده بار می‌باشند.

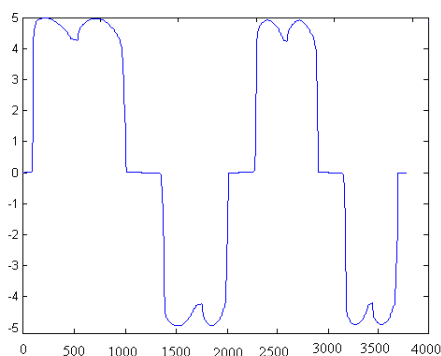
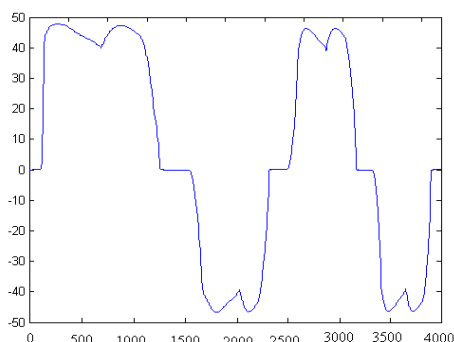
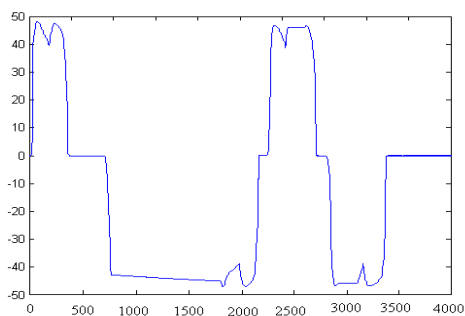
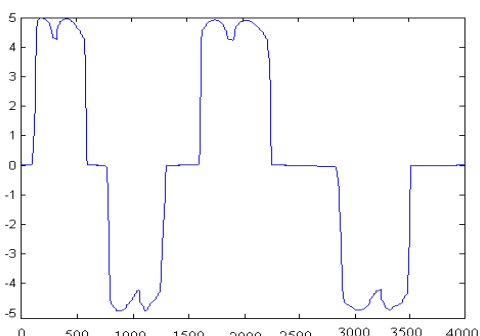
^۱ Fast Fourier Transformation

^۲ Artificial Neural Network

^۳ Synchronous Reference Frame

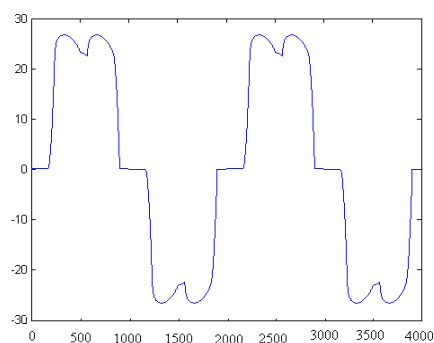
^۴ Instantaneous reactive power theory

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

شکل (۵)-جریان بار $RL=100\Omega$ شکل (۶)-جریان بار $L=1\text{mH}$ و $RL=10\Omega$ شکل (۷)-جریان بار $L=1\mu\text{H}$ و $RL=10\Omega$ شکل (۸)-جریان بار $L=1\mu\text{H}$ و $RL=100\Omega$

انتخاب شکل موج مناسب جهت آموزش شبکه از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است. هر چقدر این شکل موج دارای مشخصات متداول تری از نظر تعداد و مقدار هارمونیک های جریان باشد، کارایی شبکه در برخورد با شکل موج های ناشناخته افزایش می یابد. شکل موج مورد استفاده بگونه ای است که طیف وسیعی از هارمونیک ها را در بر می گیرد که این موضوع توانایی شبکه در برخورد با یک شکل موج دارای هارمونیک های مختلف را افزایش خواهد داد.

ورودی شبکه عصبی جریان و ولتاژ بار است که در شکل (۴) نشان داده شده است و ولتاژ بار همان ولتاژ منبع است، با توجه به فرکانس نمونه برداری انتخاب شده که برابر 5000Hz است تعداد ۱۰۰ نمونه در هر سیکل از شکل موج 50Hz اخذ می گردد، تعداد ۲۰ نمونه قبلی به عنوان ورودی شبکه عصبی، علاوه بر نمونه اندازه گیری شده در نظر گرفته می شود.



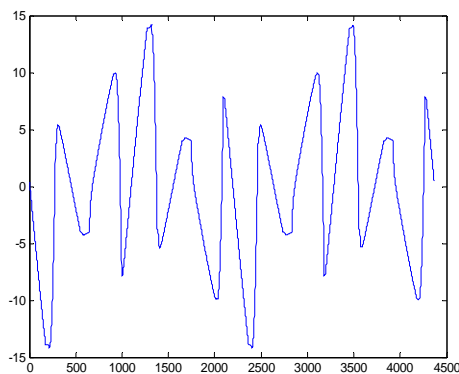
شکل (۴)-جریان بار ورودی شبکه عصبی

نمونه های استفاده شده جهت آموزش شبکه از روش تئوری توان لحظه ای (p-q) [۱۵] بدست آمده است. داده ها از ۲ دوره تناوب یکی در فاصله زمانی ۰/۰۴ تا ۰/۰۶ و ۰/۰۶ تا ۰/۰۸ که در هر دوره تناوب ۲۰۰۰ نمونه گرفته شده است. برای آموزش شبکه عصبی از ۱۰ بار مختلف و متفاوت استفاده شده است تا عملکرد شبکه عصبی بهتر و دقیقتر شود، و تنها چهار نمونه از جریان بارهای استفاده شده جهت آموزش شبکه عصبی در شکل های (۵) و (۶) و (۷) و (۸) نمایش داده شده است.

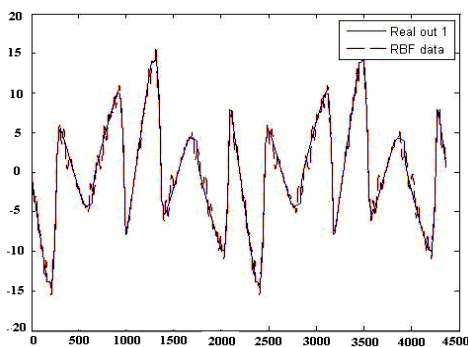
همچنین ماتریس هدف^۱ و پارامتر گستردگی^۱ عرض محدوده ای را که نرون نسبت به آن عکس العمل نشان می دهد و

^۱ Target

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

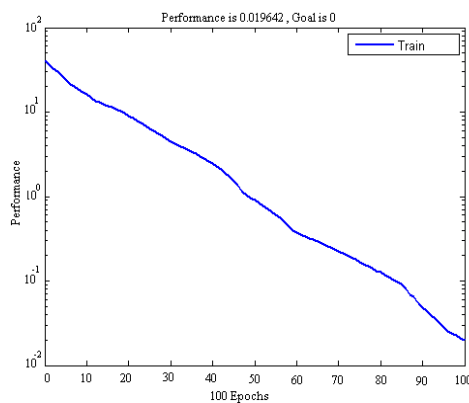


شکل (۹) - خروجی شبکه عصبی



شکل (۱۰) - نمایش همزمان خروجی شبکه عصبی و خروجی مطلوب

در شکل (۱۱) مراحل آموزش شبکه و همچنین خطای حاصل از شبکه RBF با خروجی ایده آل نمایش داده شده است.



شکل (۱۱) - آموزش شبکه و خطای خروجی

۵- تئوری توان اکتیو و راکتیو لحظه ای

اطلاعات و نمونه های مورد نیاز جهت آموزش شبکه عصبی RBF از این تئوری بدست آمده است. در این مقاله ابتدا این

پارامتر Goal را به عنوان ورودی دریافت می کند. در این مقاله مقدار Goal را صفر (به صورت پیش فرض^۲) زیرا RBF میتواند یک شبکه با خطای صفر با استفاده از بردارهای ورودی ایجاد کند و مقدار Spread را ۲۰ در نظر گرفته شده است، هر چه این مقدار به اندازه کافی بزرگ انتخاب شود نرون RBF توانایی عکس العمل روی نواحی همپوشانی از فضای ورودی را دارد. البته اگر این پارامتر بیش از اندازه بزرگ انتخاب شود همه نرون ها رفتار مشابه ای خواهند داشت که اثر مطلوبی در روند آموزش نخواهد داشت. مقدار ۲۰ بهترین حالت ممکنه است زیرا خطا به حداقل می رسد. در شبکه عصبی مورد استفاده حداکثر تعداد نرون ۱۰۰ در نظر گرفته شده است که توابع انتقال آنها گوسی که به بصورت زیر تعریف می شود است:

$$Radbas(n) = e^{-n^2} \quad (۴)$$

روش کار بدین صورت است که در هر مرحله تکرار آموزش^۳ در صورت بالا بودن خطای شبکه یک نرون به شبکه اضافه می شود و دوباره خطای مربوطه به شبکه جدید چک می گردد، اگر این خطا کمتر از میزان هدف تعیین شده باشد تکرار پایان می پذیرد. در غیر این صورت نرون جدید دیگری اضافه می شود. این رویه آنقدر تکرار می شود تا به مقدار هدف تعیین شده برسیم یا اینکه تعداد نرون های شبکه به حداکثر مقدار تعیین شده اش که ۱۰۰ در نظر گرفته شده برسد.

خروجی شبکه عصبی در شکل (۹) آمده است، همان گونه که در شکل مشاهده می شود پاسخ شبکه رضایت بخش می باشد زیرا خطای بین خروجی مطلوب (Real out) که به روش تئوری توان اکتیو و راکتیو لحظه ای محاسبه شده است با خروجی شبکه عصبی (RBF Data) تفاوت چندانی ندارد که در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

^۱ Spread^۲ Default^۳ Epoch

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

مقدار IL و VL در زمان مشخص به عنوان ورودی و IC جریان جبرانسازی به عنوان خروجی است.

جدول (۳) - هشت نمونه داده استفاده شده جهت آموزش شبکه عصبی

RBF			
T	IL	VL	IC
0.045	23.732	308.348	-3.307
0.050	0.00	0.00	-0.344
0.055	-23.732	-308.348	3.867
0.060	0.00	0.00	0.344
0.065	23.732	308.348	-3.307
0.070	0.00	0.00	-0.344
0.075	-23.732	-308.348	3.708
0.080	0.00	0.00	-0.344

۶- روش کنترل جریان باند هیستریزیس

پس از تعیین جریان های مرجع در فیلتر اکتیو باید اقدام به ساخت آنها نمود. یکی از روشهای کنترل جریان، استفاده از باند هیستریزیس است که پهنای پالس آتش را برای گیت های مبدل فیلتر اکتیو تعیین می کند. از مزایای شاخص این روش، کنترل جریان، پایداری مناسب، پاسخ بسیار سریع، دقت بالا، پیاده سازی آسان، قابلیت ذاتی محدود سازی پیک جریان و عدم حساسیت به تغییرات پارامترهای بار می باشد [۱۶]. از نقاط ضعف روش کنترل جریان باند هیستریزیس می توان به افزایش تلفات در توانهای بالا و فرکانس کلید زنی متغیر که باعث ایجاد نویزهای صوتی و هارمونیکهای کلید زنی در خروجی مبدل می شود اشاره کرد [۱۶]. مزایای انکار ناپذیر این روش آن را به مطلوب ترین روش کنترل جریان برای مبدل های منبع ولتاژ تک فاز و سه فاز تبدیل کرده است [۱۶]. در این روش سیگنال خطای حاصل از مقایسه جریان مرجع و جریان تولیدی توسط مبدل مطابق بلوک شکل (۱۲) در بین یک باند کنترلی فرضی که جریان مرجع را در بر گرفته است کنترل می شود.

$$e = i_c^* - i_{c \text{ apf (actual)}} \quad (9)$$

تئوری شبیه سازی شده است سپس نمونه های جریان و ولتاژ بار و جریان جبرانسازی استخراج شده است.

توان حقیقی لحظه ای مدار سه فاز (p)، می تواند به صورت زیر محاسبه شود:

$$P = \vec{e} \cdot \vec{i} \quad , \quad P = e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c \quad (5)$$

تئوری توان راکتیو لحظه ای (q) در مختصات a-b-c بصورت زیر قابل تعریف می باشد:

$$q = e \times i = \begin{bmatrix} q_a \\ q_b \\ q_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_b & e_c \\ e_c & e_a \\ e_a & e_b \\ i_b & i_c \\ i_c & i_a \\ i_a & i_b \end{bmatrix} \quad (6)$$

و می تواند در فرانس $\alpha - \beta - 0$ بصورت زیر تعریف گردد:

$$\begin{bmatrix} p \\ q_0 \\ q_\alpha \\ q_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_0 & e_\alpha & e_\beta \\ 0 & -e_\beta & e_\alpha \\ e_\beta & 0 & -e_0 \\ -e_\alpha & e_0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (7)$$

جریان فیلتر اکتیو بصورت زیر قابل بیان خواهد بود:

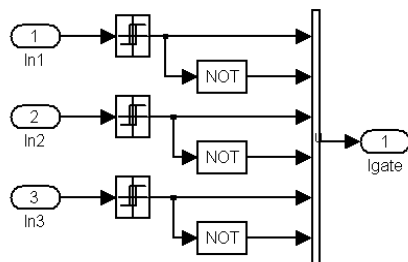
$$\begin{aligned} i_{ca} &= i_{La} - \frac{e_a \cdot p}{(e_a^2 + e_b^2 + e_c^2)} \\ i_{cb} &= i_{Lb} - \frac{e_b \cdot p}{(e_a^2 + e_b^2 + e_c^2)} \\ i_{cc} &= i_{Lc} - \frac{e_c \cdot p}{(e_a^2 + e_b^2 + e_c^2)} \end{aligned} \quad (8)$$

که جریان های بار و i_{Ca}, i_{Cb}, i_{Cc} جریان های جبران سازی می باشند.

هشت نمونه از ۴۳۸۸ نمونه بکار برده شده در آموزش شبکه عصبی به فرم ماتریسی در جدول (۳) نشان داده شده است.

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

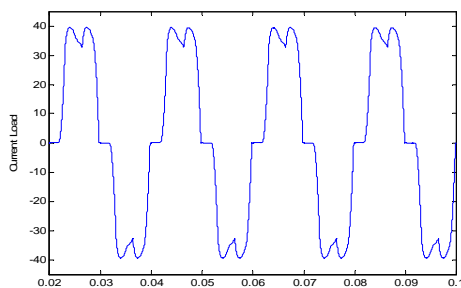
هر چه محدوده باند هیستریزس را کاهش دهیم، درصد خطا کم شده ولی فرکانس سوئیچینگ اینورتر افزایش می‌یابد. در شکل (۱۴) مدار فرمان برای تولید پالسهای PWM^۱ برای گیت اینورتر نشان داده شده است.



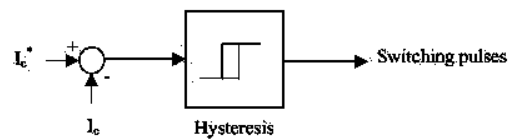
شکل (۱۴) - مدار فرمان

۷- نتایج شبیه‌سازی

شبیه‌سازی این مدل در محیط Simulink نرم افزار MATLAB انجام گرفته است. این شبیه‌سازی برای یک بار یکسو ساز پل سه فاز دیودی با بار اهمی صورت گرفته است که یک بانک اینورتری شامل شش مبدل تک فاز منبع ولتاژ، جریان مرجع شناسایی شده را تولید و به خط تزریق می‌کند. اینورتر شامل شش سوئیچ IGBT می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی در شکل (۱۵) جریان بار، شکل (۱۶) جریان جبران سازی تولیدی توسط فیلتر اکتیو و شکل (۱۷) جریان کشیده شده از منبع پس از پس از جبران سازی فیلتر هیبرید است را نشان می‌دهد.



شکل (۱۵) - جریان مصرفی بار قبل از جبران سازی



شکل (۱۲) - بلوک محدود کننده هیستریزس

اندازه باند هیستریزس، اندوکتانس مابین مبدل و شبکه و ولتاژ خازن DC در تعیین فرکانس سوئیچینگ نقش مؤثری ایفا می‌کنند [۱۷].

بالترین فرکانس کلید زنی عبارتست از [۱۸]:

$$f_{sw(max)} = \frac{V}{9HB.L} \quad (10)$$

که HB حد هیستریزس و L مقدار اندوکتانسی است که جریان بوسیله آن تزریق می‌شود. همان گونه که در شکل (۱۳) می‌توان دید شیب صعودی و نزولی خطا با اعمال ولتاژ V_o و $-V_o$ ایجاد میشود.

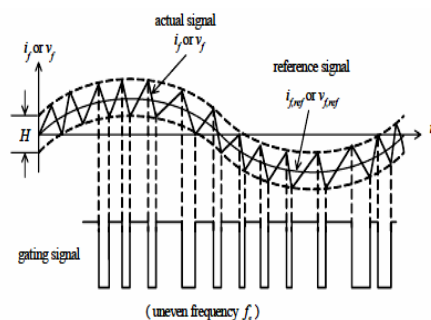
$$\frac{di_c}{dt} = \frac{1}{L} (|V_g| + V_o) \quad (11)$$

$$\frac{di_c}{dt} = \frac{1}{L} (|V_g| - V_o) \quad (12)$$

مشاهده میشود اختلاف ولتاژ اعمالی به اندوکتانس در طی دو نیم سیکل سوئیچینگ برابر $2V_o$ می‌باشد.

$$\Delta V_{bipolar} = |V_g| + V_o - (|V_g| - V_o) = 2V_o \quad (13)$$

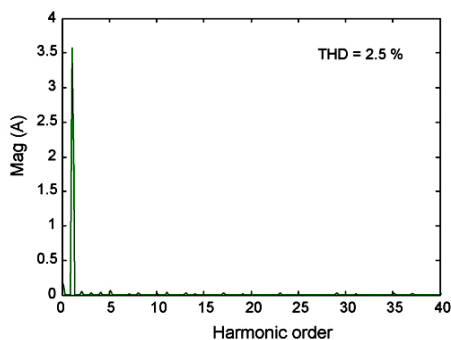
که با نرخ تماس سیگنال خطا با باندها (فرکانس سوئیچینگ) نسبت مستقیم دارد.



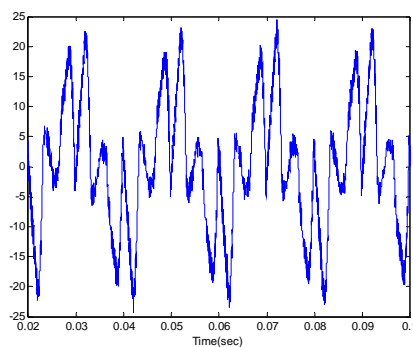
شکل (۱۳) - کنترل جریان به روش باند هیستریزس

^۱ Pulse Width Modulation

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

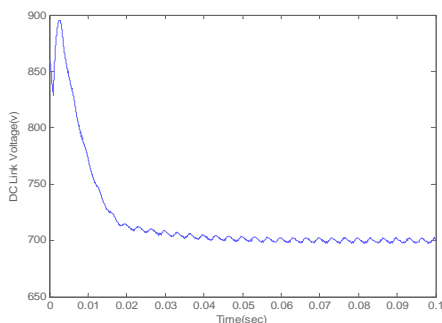


شکل (۱۹) - طیف هارمونیک جریانی منبع بعد از جبران سازی فیلتر هیبرید

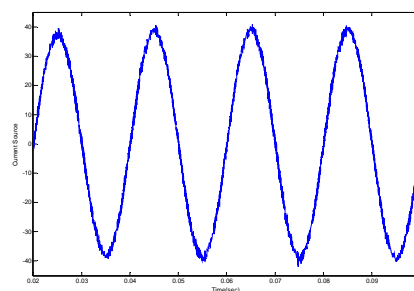


شکل (۱۶) - جریان تولیدی توسط فیلتر اکتیو

در شکل (۲۰) ولتاژ دو سر خازن DC و عملکرد رگلاتور ولتاژ شاخه DC را نشان می‌دهد.



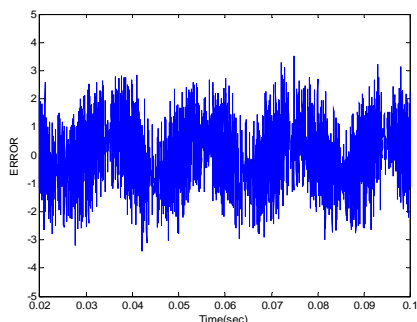
شکل (۲۰) - ولتاژ شاخه DC



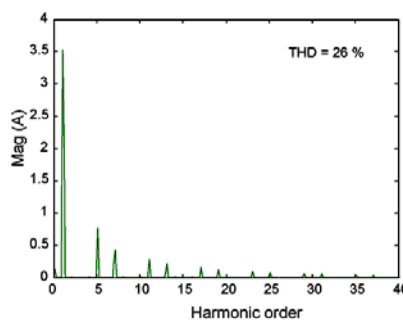
شکل (۱۷) - جریان منبع پس از جبران سازی

با مقایسه طیف فرکانسی جریان بار و جریان منبع ملاحظه می‌شود THD^۱ قبل از اعمال فیلتر هیبرید ۲۶٪ در جریان بار بوده است و با اعمال فیلتر هیبرید به ۲/۵۰٪ در جریان منبع جبران سازی شده رسیده است که در شکل‌های (۱۸) و (۱۹) نشان داده شده است.

در مورد عملکرد فیلتر اکتیو، مقایسه بین شکل موج مرجع و شکل موج تولیدی توسط فیلتر اکتیو در شکل (۲۱) آمده است که اختلاف ناچیز حکایت از ردیابی دقیق جریانی توسط فیلتر اکتیو می‌کند.



شکل (۲۱) - خطای بین جریانی مرجع و جریانی ساخته شده توسط مبدل



شکل (۱۸) - طیف هارمونیک جریانی بار

^۱ Total Harmonic Distortion

[5] Y. Wang, Z. Wang, J. Yang, J. Liu, Z. Fu, Y. Duan, Y. Hua, "A new hybrid parallel active filter", IEEE 34th Conf. on Power Electronics Specialist, Vol. 3, June 2003, pp. 1049-1054.

[6] Djaffar OULD ABDESLAM, Jean MERCKLE, Patrice WIRA, Domien FLIELLER, " Harmonic identification based on ANN : A comparative study ", 9th International Conf on Engineering Applications of Neural Networks-(EANN 2005), Lille, France, Aug 2005.

[7] T.Ruban Deva, Kesavan Nair " ANN Based Control Algorithm for Harmonic Elimination and Power Factor Correction Using Shunt Active Filter " International Journal of Electrical and Power Engineering 1(2), (2007 Elsevier), pp. 152-157.

[8] Wang Xuhong, Xiao Jinhua " RBF NEURAL NETWORK BASED PREDICTIVE CONTROL OF ACTIVE POWER FILTER ", TENCON IEEE Region, 10th Conf, Vol. 4, Nov 2004, pp. 109-112.

[9] Shaosheng Fan, Xuhong Wang, and Yushen Zhou "Neural Network based Predictive Control for Active Power Filter ", IECON IEEE, 30th Conf, Vol. 1, MAY 2005, pp. 822- 826.

[10] Ametani, A. "Harmonic reduction in thyristor Converters by harmonic current injection". IEEE Trans 8, Vol. 95, Mar 1976, pp. 441-449.

[11] Rukonuzzaman, M. and Nakaoka, M., "An advanced active power filter with adaptive neural network based harmonic detection scheme" IEEE Power Electronics Specialist conference, PESC, Vol. 3, Aug 2002, pp. 1602 – 1607.

[12] Benhabib, M.C. and Saadate, S. "New Control approach for four-wire active power filter based on the use of synchronous reference frame" ELSEVIER Electric power systems, vol. 73, (2008 Elsevier), pp. 353-362.

[13] Akagi, H. Kanazawa, Y. and Nahae, A. "Instantaneous reactive power compensators comprising switching devices without energy storage components", IEEE Trans on., Vol 20, May 1984, , pp. 625-630.

۸- نتیجه گیری

در این مقاله از فیلتر هیبرید موازی برای حذف هارمونیک استفاده شده است.

در مقاله حاضر به علت استفاده از فیلتر پسیو برای حذف هارمونیک هایی با فرکانس بالا اندازه و ابعاد فیلتر پسیو کاهش چشمگیری داشته است.

همچنین به علت استفاده از فیلتر اکتیو برای حذف هارمونیک هایی با فرکانس پایین، تلفات کلید زنی پایین آمده است.

با بهره گیری از روش کنترل هیستریزیس و استفاده از شبکه عصبی برای تخمین جریان های هارمونیکی در فیلتر فعال،

همچنین بکارگیری از فیلترهای پسیو، کیفیت جریان در شبکه های توزیع با کیفیتی بالا و حداقل تلفات امکان پذیر می باشد.

فیلتر هیبرید طرح شده در این مقاله جهت انسداد و جداسازی

مؤلفه های هارمونیکی و جریان و عاری سازی شبکه از این

اختلالات کاملاً مؤثر عمل کرده و نتایج بدست آمده از شبیه

سازی ها کاملاً منطبق با استاندارد IEEE519¹ میباشد.

۹- مراجع

[1] H. Akagi, S. Srianthumrong, Y. Tamai, "Comparisons in circuit configuration and filtering performance between hybrid and pure shunt active filters", IEEE 38th Conf. on Industry Applications, Vol. 2, Oct. 2003, pp. 1195-1202

[2] Chinyao Low, Ying-Pin Chang, Shih-Yu Hung, "An application of sequential neural-network approximation for sitting and sizing passive harmonic filters", Expert Systems with Applications (2008 Elsevier), pp. 2910–2920

[3] L. Chen, A.V. Jouanne, "A comparison and assessment of hybrid filter topologies and control algorithms", IEEE 32th Conf. on Power Electronics Specialists, Vol. 2, June 2001, pp. 565-570.

[4] D. Rivas, L. Moran, J. Dixon, J.R.Espinoza, "Improving passive filter compensation performance with active techniques", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 50, Feb 2003, pp. 161-170.

¹ Institute of Electrical and Electronics Engineers

- [14] s.valiviita and s.j.ovasaka," Delayess Method to Generate Current References for Active Filters", IEEE Trans on ,Vol.45 ,1998, pp. 559-567.
- [15] J.M.M.Ortaga , A.T.Lora, M.B.Payan and C.L.Mitchell, " Reference Current Errors of Instantaneous p-q based Methods for Active Filters",IECON02,IEEE 28th conf, Vol.1, Nov2002, pp.721-726.
- [16] Kale, Murat, Ozdemir, Engin, "An adaptive hysteresis band current Controller for shunt active power filter". ELSEVIER Electric Power Systems. Vol.73, (2005 Elsevier), pp.113-119.
- [17] Rukonuzzaman, M. and Nakaoka,M. "Single-phase shunt active power filter with harmonic detection" Electric Power Applications, IEE Proceedings, Vol.149 ,Sep 2002, pp 343- 350.
- [18] Qiao, chongming. and Smedley. Keyue. Ma," Three phase bipolar mode active power fillers", IEEE Trans. Ind, App1. vol.38, Feb 2002,pp 149-158.