PSC 2010
25th International
Power System Conference
10-F-PQA-1825

بیست و پنجمین
کنفرانس بین المللی برق

روشی نوین در کنترل جریان هیسترزیس باند ثابت جهت تثبیت فرکانس کلیدزنی در فیلتر اکتیو موازی

هانی واحدی[۱] عبدالرضا شیخ‌الاسلامی[۲] محمد توکلی بینا[۳] احسان پاشاجاوید[۴]
[۱و۲]دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران [۳و۴]دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
hvahedi@ieee.org asheikh@nit.ac.ir tavakoli@eetd.kntu.ac.ir pashajavid@ee.kntu.ac.ir

واژه‌های کلیدی: تئوری توان لحظه ای، فرکانس سوییچینگ، فیلتر اکتیو موازی، کنترل جریان هیسترزیس، هیسترزیس باند ثابت

چکیده

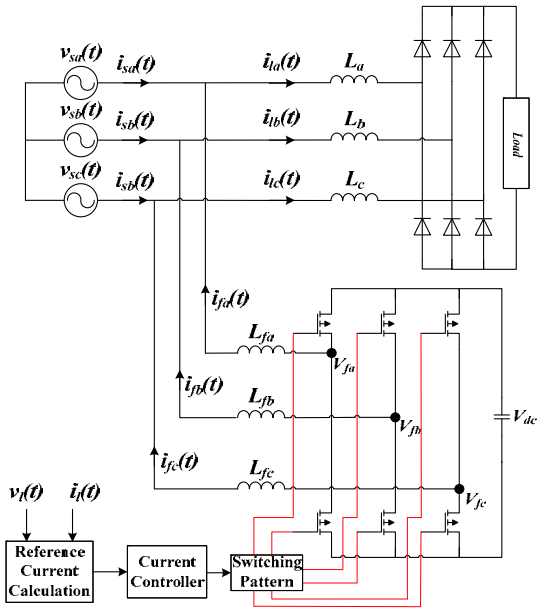
یکی از مشکلات اساسی در پیاده سازی کنترل جریان هیسترزیس، فرکانس سوییچینگ متغیر آن می باشد که باعث ایجاد نویز صوتی و افزایش تلفات اینورتر و همچنین تزریق مولفه های جریانی فرکانس بالا در جریان منبع می شود. برای حل این مشکل روش هیسترزیس باند متغیر استفاده می شود که با محاسبه لحظه ای پهنای باند هیسترزیس، فرکانس سوییچینگ را ثابت نگه می دارد. اما به علت محاسبات متعدد، از سرعت و زمان پاسخ این روش کاسته می شود. در این مقاله یک روش جدید با استفاده از هیسترزیس باند ثابت پیشنهاد شده است که ضمن حفظ سادگی و سرعت عمل آن، فرکانس سوییچینگ را نیز تثبیت می نماید و مشکلات مذکور قابل رفع خواهند شد. جهت اثبات کارایی این روش، شبیه سازی یک فیلتر اکتیو قدرت با روش های سوییچ زنی مورد نظر در محیط Matlab/Simulink انجام شده و نتایج آن شامل فرکانس سوییچینگ و THD جریان منبع در ادامه آمده است.

۱- مقدمه

تکنولوژی ادوات الکترونیک قدرت و حضور تجهیزات سوئیچ‌زنی در شبکه های قدرت، باعث تغییر شکل موج جریان منبع می شود. این کلید های قدرت با خاموش و روشن شدن ، شکل موج‌های متناوب و گذرایی ایجاد می نمایند که هارمونیک های شبکه قدرت نامیده می شوند. وجود هارمونیک در شکل موج جریان باعث افزایش تلفات و تولید توان راکتیو توسط منبع می شود که برای منبع ولتاژ نامطلوب می باشد [۳-۱].

جهت حذف هارمونیک‌های موجود در شبکه قدرت تجهیزات مختلفی بکار گرفته شدند که از آن جمله می‌توان به فیلترهای فعال، غیرفعال، سری و موازی و هیبرید اشاره نمود. از این بین فیلترهای فعال موازی به علت سرعت و دقت عملکرد آن ها در حذف هارمونیک¬ها و همچنین جبران توان راکتیو شبکه، به سرعت پیشرفت نموده و مورد استفاده قرار گرفتند [۴و۲].

شکل ۱ یک شبکه قدرت شامل منبع سه‌فاز و بار سه‌فاز را نشان می‌دهد که یک فیلتر اکتیو سه‌فاز بصورت موازی با بار به آن متصل می‌باشد.



شکل ۱: شمای کلی فیلتر اکتیو موازی متصل به شبکه قدرت

جهت تولید جریان مرجع بوسیله اینورتر، روش های مختلف سوئیچینگ استفاده می شود. کنترل جریان هیسترزیس به علت پایداری بالا، رفتار دینامیکی سریع و دقت زیاد یکی از مناسب ترین روش های کلید زنی PWM جهت تولید جریان مرجع در فیلتر های اکتیو می باشد[٤]. از سوی دیگر روش باند هیسترزیس مرسوم شامل برخی نتایج نامطلوب نیز می باشد مانند فرکانس سوئیچینگ متغیر که باعث ایجاد نویز صوتی و افزایش تلفات سوییچینگ و تزریق مؤلفه های جریانی فرکانس بالا به جریان منبع می شود و ساخت فیلتر های مناسب جهت حذف این هارمونیک های فرکانس بالا را مشکل می نماید[٥].

جهت اجتناب از این مسئله، کنترل هیسترزیس آداپتیو معرفی شده است[٦-٧]. براساس این روش، یک باند متغیر برای جریان مرجع در هر فاز تعریف می شود تا فرکانس سوئیچینگ ثابت بماند. از آنجا که پهنای باند هر لحظه تغییر می کند الگوی سوئیچ زنی تا حد زیادی متقارن شده و لذا سرعت سوئیچ زنی به مقدار ثابتی محدود می شود و فرکانس سوئیچینگ ثابت شده و تغییرات آن بسیار کاهش می یابد.

کارهای انجام گرفته برای اصلاح روش هیسترزیس عمدتاً به ادغام این روش با روش های دیگری نظیر مدولاسیون فضای برداری (SVM) پرداخته اند و بحث در نحوه بدست آمدن عرض باند را کمتر مورد بررسی قرار داده اند [٨]. چنانچه عرض باند بیش از اندازه زیاد باشد، فرکانس سوئیچینگ کم می شود اما THD جریان منبع به صورت محسوسی دچار تغییر شده و افزایش می یابد. اما اگر عرض باند بیش از اندازه کم شود، فرکانس بالا می رود و با افزایش سرعت سوئیچینگ، دقت ساخت جریان مرجع نیز بالا رفته و THD جریان منبع کاهش می یابد اما مشکلات ناشی از افزایش فرکانس افزایش می یابد. چنانچه در نحوه بدست آوردن عرض باند یک تناسب بین فرکانس سوئیچینگ و THD جریان منبع برقرار شود، نتایج مطلوبی را می توان مشاهده نمود که نشان از سوئیچ زنی مناسب و فیلترینگ مطلوب جهت حذف هارمونیک های جریان می باشد.

یکی از معایب روش هیسترزیس آداپتیو، محاسبات مورد نیاز جهت بدست آوردن پهنای باند هیسترزیس در هر لحظه می باشد که باعث پیچیدگی و افزایش زمان پاسخ آن می شود. از آنجاکه تنها مشکل جدی روش باند ثابت، فرکانس سوییچینگ متغیر آن است، لذا چنانچه راه حلی برای کاهش تغییرات فرکانس در روش هیسترزیس باند ثابت ارائه شود می توان مزیت های فراوان این روش نظیر سادگی و سرعت و دقت را حفظ نمود.

در این مقاله یک روش جدید برای محاسبه عرض باند ثابت پیشنهاد شده است که اثر محسوسی بر فرکانس سوئیچینگ داشته و تغییرات آن را کمتر از حالت متداول می نماید. لذا تغییرات زیاد فرکانس کلیدزنی که در روش هیسترزیس باند ثابت یک عیب اساسی بشکار می رفت، با استفاده از این روش بصورت مطلوبی ثابت نگه داشته می شود. در بخش ۲، تئوری توانهای لحظه ای جهت استخراج مؤلفه های هارمونیکی از جریان بار ارائه شده است که به

علت کارآیی مؤثر آن به طور گسترده استفاده می شود. در بخش ۳ کنترل جریان هیسترزیس باند ثابت و متغیر به تفصیل بحث شده است. در بخش ٤ روش پیشنهادی ارائه شده است. سپس در بخش ٥ ، شبیه سازی یک فیلتر اکتیو موازی در شبکه قدرت با بار غیر خطی در محیط Matlab/Simulink انجام شده است. نتایج این شبیه سازی که شامل فرکانس لحظه ای سوئیچینگ و THD جریان منبع است نشان می دهد که روش پیشنهادی کاهش تغییرات فرکانس کلیدزنی مؤثر بوده و THD جریان منبع را نیز به حد مطلوبی می رساند.

۲- تشخیص مؤلفه هارمونیکی جریان

جهت حذف هارمونیک‌های موجود در جریان منبع، باید ابتدا مؤلفه اصلی جریان و مؤلفه‌های هارمونیکی آن از هم تمیز داده شوند. یکی از روش‌های متداول جهت تشخیص جریان مرجع، تئوری توان لحظه‌ای می‌باشد. از آنجا که نمی-توان جریان را به طور مستقیم تجزیه هارمونیکی نمود و مؤلفه اصلی آن را جدا کرد، لذا از جریان و ولتاژ بار بطور لحظه‌ای نمونه برداری شده و با استفاده از تئوری توان لحظه-ای، در هر لحظه توان اکتیو و راکتیو طبق فرمول زیر محاسبه می شوند [۹].

$$p(t)=v_a(t)\times i_a(t)+v_b(t)\times i_b(t)+v_c(t)\times i_c(t) \qquad (۱)$$

جهت انجام محاسبات در مختصات متعامد، بردارهای ولتاژ و جریان را با استفاده از ماتریس C از مختصات abc به مختصات $\alpha\beta$ می‌بریم.

$$C=\sqrt{\frac{2}{3}}\begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}}\\ 1 & \frac{-1}{2} & \frac{-1}{2}\\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2}\end{bmatrix} \qquad (۲)$$

$$\left[v_{0\alpha\beta}(t)\right]^t=C\left[v_{abc}(t)\right]^t,\left[i_{0\alpha\beta}(t)\right]^t=C\left[i_{abc}(t)\right]^t \qquad (۳)$$

توان های اکتیو و راکتیو طبق فرمول زیر محاسبه می‌شوند.

$$\begin{bmatrix}p(t)\\ q(t)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}v_\alpha(t) & v_\beta(t)\\ -v_\beta(t) & v_\alpha(t)\end{bmatrix}\begin{bmatrix}i_{l\alpha}(t)\\ i_{l\beta}(t)\end{bmatrix} \qquad (٤)$$

حال توان اکتیو مورد نظر را می‌توان توسط یک فیلتر به دو قسمت متوسط و نوسانی ($\bar{p}(t),\tilde{p}(t)$) تجزیه نمود:

$$p(t)=\bar{p}(t)+\tilde{p}(t) \qquad (٥)$$

قسمت DC ، توان اکتیو مصرفی بار را نشان می‌دهد که از مؤلفه اصلی جریان نتیجه می‌شود. اما قسمت AC ، توان اکتیو نوسانی است که به همراه توان راکتیو باید توسط فیلتر جبران سازی شود. حال جهت محاسبه جریان مرجع مورد نیاز برای حذف هارمونیک و جبران‌سازی توان راکتیو شبکه خواهیم داشت:

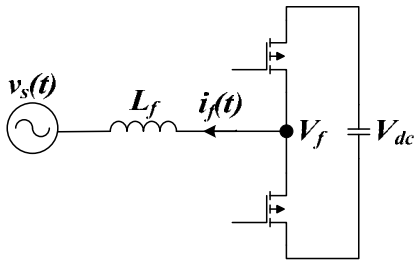
$$\begin{bmatrix}i^*_{f\alpha}(t)\\ i^*_{f\beta}(t)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}v_\alpha(t) & v_\beta(t)\\ -v_\beta(t) & v_\alpha(t)\end{bmatrix}^{-1}\begin{bmatrix}-\tilde{p}(t)\\ -q(t)\end{bmatrix} \qquad (٦)$$

با تبدیل معکوس abc به α-β نیز می‌توان به جریان مرجع مورد نظر در هر فاز جهت تزریق به شبکه دست یافت

$$\left[i^*_{fa}(t)\quad i^*_{fb}(t)\quad i^*_{fc}(t)\right]^t=C^{-1}\left[0\quad i^*_{f\alpha}(t)\quad i^*_{f\beta}(t)\right]^t \qquad (٧)$$

۳- کنترل جریان هیسترزیس

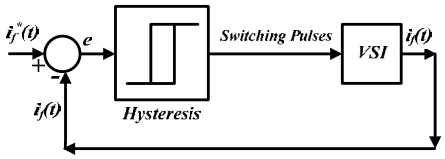
پس از آنکه جریان مرجع توسط تئوری توان لحظه‌ای محاسبه شد، نوبت به تولید جریان مذکور توسط فیلتر اکتیو موازی می‌باشد. در این مرحله همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، سوئیچ‌های اینورتر منبع ولتاژ با خاموش و روشن شدن خود ولتاژ dc خازن را در خروجی اعمال می نمایند تا از این طریق شکل موج جریان مرجع ساخته شده و به شبکه تزریق شود.



شکل ۲: فاز a از اینورتر منبع ولتاژ سه فاز

کنترل جریان به روش باند هیسترزیس یکی از روش‌های تولید پالس جهت سوئیچینگ می‌باشد [٤ – ۷]. در این روش یک باند فرضی حول جریان مرجع در نظر گرفته می‌شود. همانطور که در شکل ۳ ملاحظه می‌گردد، i_f جریان مرجع و

i_f^* جریان تولیدی توسط فیلتر می‌باشد. اختلاف این دو که سیگنال خطا (e) نامیده می شود وارد یک رله مقایسه کننده می‌شود. چنانچه e از حد بالایی بیشتر شود، سوئیچ بالایی در بازوی اینورتر خاموش می‌شود تا ولتاژ V_{dc}– در خروجی ظاهر شده و جریان فیلتر کاهش یابد تا e نیز کم شود. سپس در صورتی که e از حد پایینی نیز کمتر شود، سوئیچ روشن می‌شود تا ولتاژ V_{dc}+ در خروجی اینورتر ایجاد شده و جریان فیلتر افزایش یافته و سیگنال خطا به درون باند مورد نظر برگردد. بدین ترتیب اختلاف جریان فیلتر و جریان مرجع در حد مورد نظر باقی می ماند و به صورت تقریبی هم شکل می شوند.



شکل ۳: سوییچ زنی به روش باند هیسترزیس

جهت تعیین پهنای باند هیسترزیس از دو روش استفاده می‌شود که در زیر آمده است.

۳-۱- هیسترزیس باند ثابت (FHB[1])

در این روش پهنای باند هیسترزیس را ٪۵ مقدار rms جریان شبکه در نظر می‌گیرند.از مزایای این روش می‌توان به سادگی و سرعت بالای این روش اشاره نمود، اما از آنجا که این مقدار ثابت است لذا فرکانس سوئیچینگ متغیر می‌شود. فرکانس متغیر باعث ایجاد نویز صوتی و همچنین تزریق جریان با مؤلفه‌های مختلف فرکانسی می‌شود که طراحی فیلترهای مناسب جهت حذف این مؤلفه‌های گوناگون را مشکل می‌نماید.

۳-۲- هیسترزیس باند متغیر (AHB[2])

در این روش جهت تثبیت فرکانس سوئیچ‌زنی، پهنای باند هیسترزیس به صورت لحظه‌ای تغییر می‌کند. با تغییر پهنای باند در هر لحظه، زمان سوئیچ‌زدن منظم‌تر شده و لذا فرکانس ثابت می‌شود.

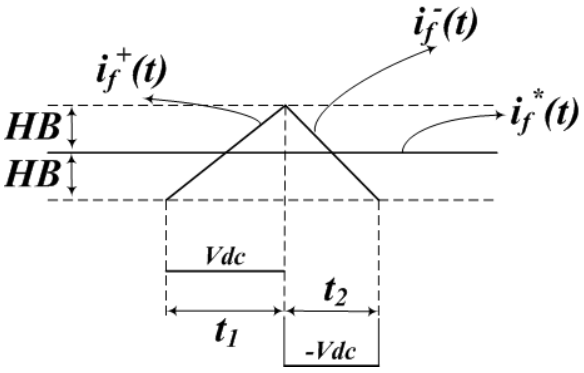
بدین ترتیب مشکلات ناشی از تغییر فرکانس کلیدزنی نیز برطرف می‌شود. در این روش جهت تعیین مقدار لحظه‌ای پهنای باند، از روی شکل ٤ محاسبات مورد نظر به صورت زیر انجام می‌شود.

با توجه به شکل ۲ می‌توان نوشت:

$$\frac{di_f(t)}{dt}=\frac{1}{L_f}\left(V_f-v_s(t)\right) \qquad (۸)$$

که V_f را نیز می‌توان بصورت زیر نوشت:

$$V_f=\begin{cases}V_{dc} & \text{the upper switch is ON}\\ -V_{dc} & \text{the lower switch is ON}\end{cases} \qquad (۹)$$



شکل ۴: منحنی باند هیسترزیس

حال گر جریان فیلتر را به دو قسمت صعودی $i_f^+(t)$ و نزولی $i_f^-(t)$ تقسیم نماییم، با توجه به شکل ٤ خواهیم داشت:

$$\frac{di_f^+(t)}{dt}=\frac{1}{L_f}\left(V_f-v_s(t)\right) \qquad (۱۰)$$

$$\frac{di_f^-(t)}{dt}=\frac{-1}{L_f}\left(V_f+v_s(t)\right) \qquad (۱۱)$$

با توجه به شکل ٤ می توان فرمول‌های زیر را نیز بدست آورد:

$$\begin{cases}\dfrac{di_f^+(t)}{dt}\times t_1-\dfrac{di_f^*(t)}{dt}\times t_1=2HB\\ \dfrac{di_f^-(t)}{dt}\times t_2-\dfrac{di_f^*(t)}{dt}\times t_2=-2HB\end{cases} \qquad (۱۲)$$

[1] Fixed Hysteresis Band

[2] Adaptive Hysteresis Band

$$f = \frac{1}{t_1 + t_2} \qquad (۱۳)$$

که t_1 و t_2، زمان‌های روشن و خاموش بودن سوییچ‌ها می باشد و f نیز فرکانس سوییچینگ است.

حال با جاگذاری عبارات ۱۰ و ۱۱ و ۱۳ در دستگاه معادله ۱۲ می‌توان به فرمول زیر برای پهنای باند هیسترزیس دست یافت.

$$HB = \frac{V_{dc}}{4fL_f} - \frac{L_f}{4fV_{dc}}\left(\frac{v_s(t)}{L_f} + \frac{di_f^*(t)}{dt}\right)^2 \qquad (۱٤)$$

٤- روش هسترزیس باند ثابت پیشنهادی(NFHB[۱])

چنانچه عرض باند هیسترزیس و فرکانس سوئیچینگ در دو روش مقایسه شود این نتیجه بدست خواهد آمد که در روش FHB پهنای باند ثابت بوده و مقدار آن نیز کمتر از پهنای باند روش AHB می باشد، لذا فرکانس کلیدزنی متغیر می شود و مقدار آن نیز بالا می رود. اما در روش AHB، پهنای باند بیشتر از مقدار مورد نظر در روش FHB است و بصورت لحظه ای نیز تغییر می کند و در نتیجه فرکانس سوییچینگ را کنترل نموده و آن را ثابت می نماید. نکته مهم در روش باند متغیر این است که یک تناسب بین فرکانس سوئیچینگ و THD برقرار شده و این تنها حاصل تغییر مقدار عرض باند می باشد. با این روش هم فرکانس در حد مطلوبی ثابت می ماند و هم THD مورد قبولی بدست می آید که نشان از جبران سازی خوب فیلتر اکتیو است.

حال چنانچه عرض باند در روش FHB را هنگام طراحی سیستم از روی پارامترهای سیستم و بکمک رابطه ١٤ بدست آوریم می توان به نتایج مشابهی با روش AHB دست یافت. به این صورت که هم فرکانس سوییچینگ مشابه روش AHB شده و ثابت می شود و از سوی دیگر، THD جریان منبع نیز در دو روش مقدار نزدیک به هم خواهند داشت. لذا می توان برای هر سیستم با توجه به پارامترهای مورد نظر در طراحی، پهنای باند را نیز توسط رابطه ١٤ بصورت منحصر به فرد بدست آورد.

[۱] Novel Fixed Hysteresis Band

٥- شبیه سازی و مقایسه نتایج

در این قسمت شبیه سازی یک فیلتر اکتیو موازی متصل به شبکه قدرت با سه روش کلیدزنی هیسترزیس باند ثابت و متغیر و روش معرفی شده برای بار متعادل غیرخطی شامل یکسوساز سه‌فاز و یک مقاومت ۱۵ اهمی در نرم افزار Matlab/Simulink انجام شده است. مشخصات سیستم مورد شبیه سازی در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: مقادیر پارامترهای سیستم شبیه‌سازی شده

ولتاژ شبکه	V ۲۲۰
فرکانس شبکه	Hz٦٠
اندوکتانس یکسوساز	mH۲
مقاومت بار	Ω۱٥
اندوکتانس فیلتر	mH٥
ولتاژ خازن dc	V۷٥٠

برای اینکار ابتدا چندین شبیه سازی با باند متغیر در فرکانس های مختلف انجام شده است. جهت شبیه سازی باند متغیر باید فرکانس مورد نظر در سوییچینگ را برای فرمول باند تعریف نمود که در ستون اول جدول ۲ مشاهده می نماییم. با قراردادن این فرکانس در فرمول HB نباید انتظار داشت که فرکانس سوییچینگ در حالت واقعی همین مقدار شود. جدول ۳ مقادیر مینیمم و ماکزیمم فرکانس لحظه ای محاسبه شده از روی پالس های تولید شده توسط سوییچ در فاز a را نشان می دهد. در ستون های بعد می توان مقادیر پهنای باند هیسترزیس محاسبه شده توسط فرمول HB را ملاحظه نمود.

جدول ۲: مقادیر HB بدست آمده در روش AHB

فرکانس کلیدزنی در فرمول HB برحسب KHz	١٠	١٤	١٨	٢٢
مقدار متوسط HB	٣/٥٩	٢/٥٦	١/٩٩	١/٦٣

حال برای اثبات کارایی روش NFHB مقدار متوسط پهنای باند هیسترزیس در روش باند متغیر را که از طریق فرمول HB

نیز بدست می آید، به عنوان پهنای باند در روش باند ثابت در نظر می گیریم.

جداول ۳ و ٤ به ترتیب مقادیر THD جریان منبع و ماکزیمم و مینیمم فرکانس سوییچینگ در روش های AHB و NFHB را نشان می دهند. THD جریان بار نیز در حد ۲۲٪ و مقدار RMS آن تقریبا A ۱۸ می باشد.

جدول ۳: مقادیر فرکانس سوییچینگ و THD% جریان منبع در روش NFHB

مقدار HB در روش NFHB	۳/۵۹	۲/۵٦	۱/۹۹	۱/٦۳
مینیمم فرکانس سوییچینگ (KHz)	٦/۸۹	۸/٦۹	۱۰/۵۲	۱۱/۷٦
ماکزیمم فرکانس سوییچینگ (KHz)	۹/۰۹	۱۲/۲۵	۱۵/۳۸	۱۸/۱۸
THD% جریان منبع	۵/٤۲	٤/۵۰	۳/۵۷	۲/۰۹

با انجام شبیه سازی برای روش NFHB همانطور که در جدول ۳ آمده است ملاحظه می نماییم که محدوده تغییرات فرکانس سوییچینگ و همچنین THD جریان منبع بطور محسوسی به همین مقادیر در روش باند متغیر که در جدول ٤ قابل مشاهده است، نزدیک می باشد. همچنین چنانچه از پهنای باند ۵٪ RMS جریان که در این سیستم مقدار HB=۰/۹ می باشد، استفاده کنیم، فرکانس سوییچینگ بین بازه [۲۵و۱٦] کیلوهرتز تغییر خواهد نمود. در این صورت می توان گفت سیستم باند متغیر را تنها با استفاده از پهنای باند آن در روش باند ثابت مدلسازی نموده ایم.

با انجام شبیه سازی برای روش NFHB همانطور که در جدول ۳ آمده است ملاحظه می نماییم که محدوده تغییرات فرکانس سوییچینگ و همچنین THD جریان منبع بطور محسوسی به همین مقادیر در روش باند متغیر که در جدول ٤ قابل مشاهده است، نزدیک می باشد. همچنین چنانچه از پهنای باند ۵٪ RMS جریان که در این سیستم مقدار HB=۰/۹ می باشد، استفاده کنیم، فرکانس سوییچینگ بین بازه [۲۵و۱٦] کیلوهرتز تغییر خواهد نمود. در این صورت می توان گفت سیستم باند متغیر را تنها با استفاده از پهنای باند آن در روش باند ثابت مدلسازی نموده ایم.

جدول ۴: مقادیر فرکانس سوییچینگ و THD% جریان منبع در روش AHB

فرکانس کلیدزنی در فرمول HB برحسب KHz	۱۰	۱٤	۱۸	۲۲
مقدار متوسط HB محاسبه شده	۳/۵۹	۲/۵٦	۱/۹۹	۱/٦۳
مینیمم فرکانس سوییچینگ (KHz)	٦/٦٦	۸/۳۳	۱۰/۰۰	۱۱/۱۷
ماکزیمم فرکانس سوییچینگ (KHz)	۹/۰۹	۱۱/۷٦	۱۵/۳۸	۱۸/۱۸
THD% جریان منبع	٦/۵۹	۳/٤٤	۳/۱٦	۲/۵۱

یکی از مزایای این روش ثابت کردن فرکانس سوئیچینگ در روش باند ثابت است. همانطور که در بخش های قبل ملاحظه شد، تغییرات زیاد فرکانس سوییچینگ در روش باند ثابت از معایب بزرگ آن بشمار می رود که با این روش قابل حل می باشد.

یکی دیگر از مزایای این روش سادگی باند ثابت در مقابل باند متغیر است. برای اجرای روش باند متغیر نیاز به حسگر های ولتاژ و جریان و همچنین بلوک های محاسباتی زیادی جهت تعیین عرض باند در هر لحظه می باشد، اما در این روش ما تنها از روش باند ثابت با عرض باند متفاوت از قبل استفاده کردیم و سادگی این روش که تنها بر پایه مقایسه بنا نهاده شده است باقی مانده است. لذا هم از پیچیدگی های روش باند متغیر کاسته شده و هم فرکانس ثابت مانده و هم چنین THD در حد مطلوبی باقی مانده است.

٦- نتیجه گیری

سوییچینگ هیسترزیس باند ثابت یکی از روش های ساده و موثر در کنترل جریان فیلترهای اکتیو می باشد اما فرکانس کلیدزنی متغیر آن از مهمترین مشکلات این روش است. در این مقاله روش هیسترزیس باند ثابت و متغیر بطور کامل

تشریح شد و سپس روش NFHB جهت تثبیت فرکانس سوییچینگ در روش باند ثابت معرفی شد. شبیه سازی های انجام شده و نتایج حاصل از فرکانس سوییچینگ در متد های مشروح، کارایی روش پیشنهادی را در ثابت نمودن فرکانس سوییچینگ و رفع مشکلات مربوطه اثبات نمودند.

مراجع

[1]E.L. Owen, “A History of Harmonics in Power Systems”, IEEE Industry Application Magazine, January/February 1998, pp. 6-12

[۲] محمد توکلی بینا، "کنترل توان‌های غیراکتیو و هارمونیک‌ها"، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۸۲

[۳] سید حسین صادقی، آرتین درمیناسیانس، شهرام منتصر کوهساری، "هارمونیک¬ها در شبکه قدرت"، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۲

[4]Ali Emadi, Abdolhossein Nasiri, Stoyan B. Bekarov, “Uninterruptable Power Supplies and Active Filters”, Illinoise Institute of Technology, 2005

[5]Oleg Vodyakho, Chris C. Mi, “Three- Level Inverter-Based Shunt Active Power Filter in Three-Phase Three- Wire and Four-Wire Systems”, IEEE Trans. On Power Elec., Vol. 24, No. 5, 2009, pp. 1350-1363.

[6]B.K.Bose, An Adaptive Hysteresis Band Current Control Technique of a Voltage Feed PWM Inverter for Machine Drive System, IEEE Trans. On Ind. Elec., 1990, pp. 402- 406

[7]Wenjin Dai, Baofu Wang, Hua Yang, A Hysteretic Current Controller for Active Power Filter with Constant Frequency, IEEE Int. Conf. on Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications, CIMSA, 2009, pp.86-90

[8]Ruijian Chen, Zheng Xu, Yixin Ni, A New Current Control Method Based on SVM in αβ0 Coordinate System, IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2004, pp.353-357

[9]Wenjin Dai, Yongtao DaiTingjian Zhong, A New Method for Harmonic and Reactive Power Compensation, IEEE Int. Conf. on Industrial Technology, ICIT, 2008, pp.1-5