

الگوریتم نوین جهت محاسبه پهنای باند در روش وزن گذاری گروه هارمونیک برای شناسایی هارمونیک‌های میانی

علیرضا علیزاده کیاپی هانی واحدی محمد توکلی بینا
باشگاه دانش پژوهان جوان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ساری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ساری - ایران تهران - ایران

واژه‌های کلیدی: تبدیل فوریه سریع، هارمونیک میانی،
وزن گذاری گروه هارمونیک‌ها، الگوریتم محاسبه پهنای باند.

چکیده

مبدل‌های قدرت جدید طیف وسیعی از هارمونیک‌ها، زیرهارمونیک‌ها و هارمونیک‌های میانی را تولید می‌کنند. ابزارهای بررسی هارمونیک‌ها که بر اساس تبدیل فوریه سریع (FFT) هستند، فرض می‌کنند فقط هارمونیک‌ها وجود دارند و زمان‌های تناوب نیز ثابت می‌باشند، در صورتیکه در حضور هارمونیک‌های میانی این زمان‌های تناوب متغیر و طولانی می‌شوند. استفاده از FFT به علت مسئله ذکر شده و همچنین مشکلاتی نظیر اختلاط فرکانسی، نشت طیفی و نادیده گرفته شدن پیک‌های شکل موج ممکن است به نتایج نامعتبری منجر شود. در این مقاله نظریه وزن گذاری گروه هارمونیک‌های میانی (GHW) برای ارزیابی هارمونیک‌های میانی رایج در سیستم قدرت بیان گردیده است. در ادامه روشی جهت بهبود روش ارائه شده تا در صورت وجود مقادیر مختلف هارمونیک‌های میانی، پهنای باند مناسب را جهت تحلیل این هارمونیک‌ها محاسبه نماید. با اصلاح روش GHW نتایج دقیقتری در FFT یک شکل موج حاوی هارمونیک‌های میانی

مخصوصاً هنگامی که تغییری در فرکانس اصلی سیستم ایجاد شود و یا تداخل فرکانسی وجود داشته باشد، حاصل می‌گردد. شبیه سازی‌های عددی نیز جهت اثبات کارایی روش ارائه شده در تشخیص هارمونیک‌های میانی و افزایش دقت روش FFT انجام شده است.

۱- مقدمه

هارمونیک‌های سیستم قدرت یکی از مسائل مهم در کیفیت توان تحویلی به مصرف کنندگان می‌باشد. پیشرفت سریع ادوات نیمه هادی الکترونیک قدرت و استفاده از این بارهای غیرخطی در صنعت، افزایش ناگهانی هارمونیک در شکل موج ولتاژ و جریان را در پی خواهد داشت [۱]. به عنوان مثال، مبدل‌های فرکانسی جدید طیف وسیعی از مولفه‌های هارمونیک تولید می‌کنند که باعث کاهش کیفیت انرژی تحویلی و افزایش تلفات انرژی همراه با کاهش قابلیت اطمینان در سیستم قدرت می‌گردند [۲]. در بحث هارمونیک‌ها نمی‌توان از هارمونیک‌های میانی و

بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق

استفاده از این روش مقدار پهنای باند مورد استفاده در روش GHW از طریق الگوریتم ارائه شده محاسبه می شود و لذا می تواند در فرکانس های مختلف عمل کرده و تعمیم پذیری داشته باشد.

در این مقاله، ابتدا روش GHW در بخش دوم توضیح داده شده است. در بخش سوم، الگوریتم پیشنهادی محاسبه پهنای باند شرح داده شده است. شبیه سازی های عددی در محیط MATLAB جهت اثبات کارایی روش پیشنهادی انجام شده است که نتایج آن در بخش چهارم آمده است.

۲- روش وزن گذاری گروه هارمونیک (GHW)

همانطور که در [۸] آمده است، فرض کنید که موج $i_s(t)$ در N نمونه مجزا با فرکانس f_s نمونه برداری شده است و $T = \frac{N}{f_s}$ (ثانیه). با استفاده از پردازش دیجیتال سیگنال (DSP)، سیگنال پیوسته $i_s(t)$ به سیگنال گسسته $i_s[n]$ تبدیل شده و در نهایت با استفاده از تبدیل فوریه گسسته (DFT) به صورت زیر در می آید.

$$I_s[k] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} i_s[n] W_N^{kn} \quad (1)$$

که در آن $I_s[k]$ را به عنوان تبدیل گسسته فوریه $i_s[n]$ در فرکانس $f_k = \frac{k}{T}$ و $W_N = e^{j \frac{2\pi}{N}}$ در نظر می گیرند. تبدیل معکوس DFT که امکان بازسازی سیگنال را از طیف هایش فراهم می سازد، عبارتست از:

$$i_s[n] = \sum_{k=0}^{N-1} I_s[k] W_N^{-kn} \quad (2)$$

بوسیله روابط پارسوال در حوزه گسسته، توان شکل موج، P ، با رابطه زیر بیان می گردد:

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} i_s[n]^2 = \sum_{k=0}^{N-1} I_s[k]^2 \quad (3)$$

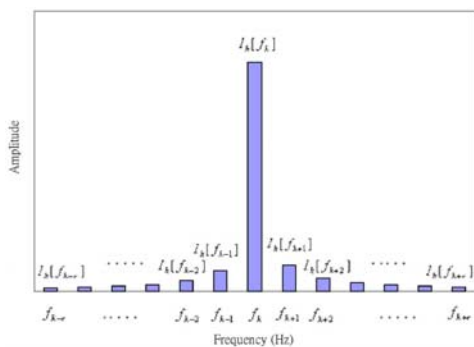
زیرهارمونیک ها اجتناب نمود. هارمونیک های میانی نسبتی از فرکانس اصلی سیستم هستند که بین دو هارمونیک اصلی می باشند. بعبارتی دیگر، هارمونیک های میانی مضارب غیر صحیح از مولفه هارمونیک اصلی می باشند. به عنوان مثال در یک شکل موج با هارمونیک اصلی 50 Hz ، مولفه های هارمونیک با فرکانس های 90 ، $72/3$ و $125/7$ هرتز هارمونیک های میانی بشمار می روند. زیرهارمونیک ها نیز گونه ای خاص از هارمونیک های میانی می باشند که فرکانس آن ها کمتر از فرکانس اصلی باشد مثل 40 Hz [۳].

اندازه گیری دقیق مقدار هارمونیک موجود در یک شکل موج جهت مسائل کنترلی و حفاظتی و یا طراحی فیلترهای مناسب برای حذف آن ها بسیار مهم می باشد. هارمونیک های میانی زیان آورتر از هارمونیک های با مضرب صحیح از فرکانس اصلی هستند، لذا شناسایی آن ها نیز درخور اهمیت می باشد [۲]. هرچند روش های مختلفی نظیر حداقل مربعات، فیلتر کالمن و شبکه عصبی جهت تشخیص هارمونیک های موجود در یک شکل موج به کار می روند [۴-۶]، اما روش های تشخیص کیفیت توان اکثرا بر پایه FFT^۱ که از سرعت و سادگی در پیاده سازی برخوردار است، می باشند. هرچند همه روش های ذکر شده مزایای مخصوص به خود را دارند، اما هیچ کدام عملکرد مناسبی در تشخیص هارمونیک های میانی تحت تغییرات فرکانس اصلی سیستم که بیشتر در حالت واقعی اتفاق می افتد از خود نشان نمی دهند.

چنگ لین در [۷] روش GHW^۲ را بر پایه FFT ارائه نمود. در این روش در اطراف هر فرکانس اصلی، یک پهنای باند (τ) در نظر گرفته می شود تا در این باند فرضی، FFT انجام شود. بر اساس مثال های عددی انجام شده، پهنای باند بصورت آزمون و خطا بدست آمده و با تقریب خوبی مقدار دامنه و فرکانس هارمونیک های میانی هم در حالتی که فرکانس اصلی ثابت باشد و هم در حالتی که فرکانس اصلی تغییر کند، بدست می آید. در این مقاله الگوریتمی نوین جهت محاسبه پهنای باند بطور مطلوب و بهینه ارائه شده است. با

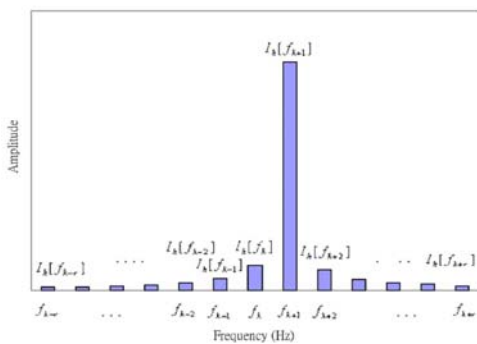
بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق

فرکانسی شامل ۰/۱ تا ۰/۵ هرتز در بخش اعشار است. از طرف دیگر انحراف بزرگ فرکانسی، انحراف بزرگتر از ۰/۵ هرتز در بخش اعشاری می باشد. هارمونیک های میانی برای انحراف کوچک و بزرگ فرکانسی به ترتیب در شکل های ۱ و ۲ نشان داده شده اند. بر مبنای آنالیز طیفی با استفاده از FFT برای انحراف کوچک فرکانسی (کمتر یا مساوی با ۰/۵ هرتز) دومین دامنه بزرگتر در طرف راست دامنه غالب می باشد، یعنی $I_h[f_{k+1}] > I_h[f_{k-1}]$ (شکل (۱)). برای انحراف بزرگ فرکانسی (بیشتر از ۰/۵ هرتز) دومین دامنه بزرگتر در طرف چپ دامنه غالب قرار گرفته است، یعنی $I_h[f_k] > I_h[f_{k+2}]$ (شکل (۲)).



شکل ۱: طیف فرکانسی هارمونیک میانی

برای انحراف کوچک فرکانسی



شکل ۲: طیف فرکانسی هارمونیک میانی

برای انحراف بزرگ فرکانسی

فرکانس هارمونیک میانی به صورت جمع فرکانس مرکزی f_k بعلاوه "انحراف فرکانسی (F.D.R.)" یعنی $f_k + \Delta f_k$ تعریف می شود، که Δf_k برای محاسبه F.D.R، استفاده می گردد.

همچنین توان در فرکانس مجزای f_k طبق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$P[f_k] = I_s[k]^2 + I_s[N-k]^2 = 2I_s[k]^2 \quad (4)$$

که در آن $k=0,1,2,\dots,\frac{N}{2}-1$ می باشد.

مقدار RMS دامنه هارمونیک در فرکانس گسسته f_k عبارتست از:

$$I_h[f_k] = \sqrt{P[f_k]} = \sqrt{2I_s[k]} \quad (5)$$

توان هارمونیک، به دلیل نشت طیفی، در سراسر باند فرکانسی حول f_k پراکنده می شود. بنابراین توان کلی هارمونیک ها در فرکانس های مجاور f_k را می توان با "توان گروه" نشان داد. هر "توان گروه" یعنی $P^*[f_k]$ مجموع توان بین $f_{k-\Delta k}$ و $f_{k+\Delta k}$ است و بدین صورت تعریف می شود:

$$P^*[f_k] = \sum_{\Delta k=-\tau}^{+\tau} I_h[f_{k+\Delta k}]^2 \quad (6)$$

که در آن عددی صحیح بوده و نشان دهنده پهنای باند گروه است. بنابراین دامنه هر هارمونیک را می توان از رابطه زیر تخمین زد:

$$I_s^*[f_k] = \sqrt{P^*[f_k]} \quad (7)$$

با بدست آوردن "توان گروه"، مشکلات مرتبط با انرژی توزیع شده نشت طیفی حل می شود. این مشکلات در سیستم های قدرت ناشی از اندازه گیری هارمونیک های میانی با فرکانس جابجا شده سیستم بوجود می آید. بیشتر نشتی ها را می توان در قالب یک گروه جمع آوری کرده و در نظر گرفت، چنانچه گویی همه آنها در فرکانس هارمونیک غالب قرار دارند. بدین ترتیب دامنه هارمونیک های میانی و یا زیرهارمونیک ها را می توان تعیین نمود [۹].

۲-۱ مدل روش وزن گذاری گروه هارمونیک با استفاده از پهنای باند

این مدل ابتدا فرکانس هارمونیک های میانی را در نقطه اعشار به دو بخش یعنی انحراف کوچک فرکانسی و انحراف بزرگ فرکانسی تقسیم بندی می کند [۷]. انحراف کوچک

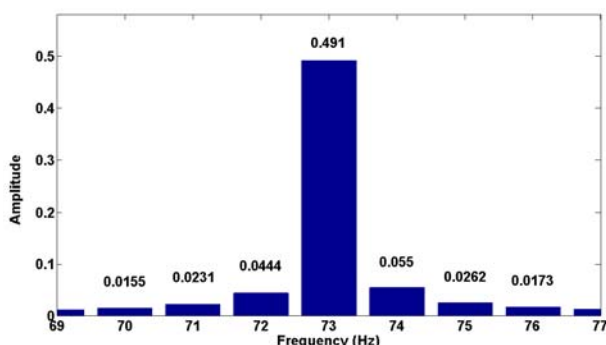
بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق

۲-۱-۱ جابجایی فرکانس سیستم صفر باشد

(فرکانس سیستم جابجایی نداشته باشد)

فرکانس اصلی سیستم، یعنی 50 Hz، به عنوان حالت ایده-آل در نظر گرفته شده و دامنه آن در مثال های زیر نسبت به 1 نرمالیزه شده است:

مورد 1: حالت انحراف کوچک فرکانس، $f_a=73.1 \text{ Hz}$, $\theta=0^\circ$, $A_a=0.5$



شکل 3: طیف فرکانسی ۷۳/۱ بدون جابجایی فرکانس اصلی

نتایج آنالیز طیف با استفاده از FFT در شکل 3 نشان داده شده است. بر مبنای این نتایج، نسبت انحراف فرکانس (F.D.R.) برای بیش از 73 Hz با استفاده از رابطه (8) محاسبه می شود:

$$F.D.R.=0.1156\approx 0.1$$

بنابراین فرکانس هارمونیک میانی در این حالت معادل با $73+0/1$ هرتز یعنی 73 Hz است، که منطبق با فرکانس واقعی می باشد. مقدار R.A. نیز با استفاده از رابطه (9) محاسبه می شود:

$$R.A.=0.4986\approx 0.5$$

دامنه هارمونیک میانی تقریباً برابر 0/5 است، که منطبق با دامنه واقعی می باشد.

همانطور که در شکل (3) مشاهده می گردد، فرکانس محاسبه شده در روش FFT، مقدار اعشاری را نمایش نمی دهد در صورتی که با استفاده از روش GHW می توان به مقدار دقیق فرکانس هارمونیک های میانی دست یافت. از آن جا که انحراف فرکانسی کوچک است، فرکانس بدست آمده در روش FFT مقدار صحیح کوچکتر از فرکانس واقعی می باشد.

$$F.D.R.(=\Delta f_k) = \frac{\sqrt{\sum_{\Delta k=1}^{+\tau} I_h [f_{k+\Delta k}]^2}}{\sqrt{\sum_{\Delta k=-\tau}^0 I_h [f_{k+\Delta k}]^2 + \sum_{\Delta k=1}^{+\tau} I_h [f_{k+\Delta k}]^2}} \quad (8)$$

به طور کلی، امکان جابجایی فرکانس سیستم در شرایط واقعی وجود دارد، یعنی فرکانس سیستم دقیقاً برابر 50 Hz نبوده و ممکن است کمی بیشتر (مثلاً 50/2 Hz) و یا کمتر (مثلاً 49/9 Hz) باشد. لذا، دامنه بازیابی شده (R.A¹)، که در حقیقت دامنه بازیابی شده هارمونیک میانی است، بدین صورت تعریف می شود:

$$R.A. = \frac{\sqrt{\sum_{\Delta k=-\tau}^{+\tau} I_h [f_{k+\Delta k}]^2}}{R.A.S.F.} \quad (9)$$

که در آن R.A.S.F.² دامنه بازیابی شده در فرکانس سیستم می باشد. f_k نیز فرکانس مرکزی هارمونیک میانی است.

$$R.A.S.F. = \sqrt{\sum_{\Delta L=-\tau}^{+\tau} I_h [f_{l+\Delta l}]^2} \quad (10)$$

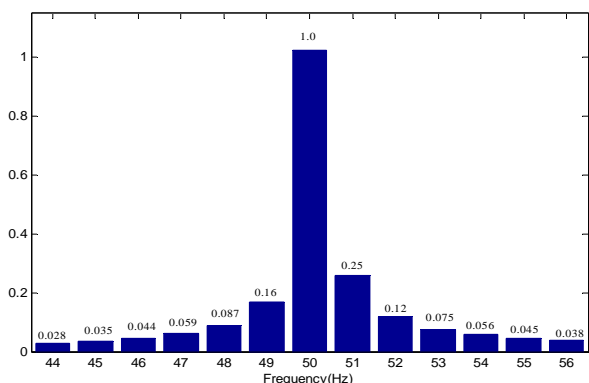
در ادامه حالات مختلفی از آنالیز فرکانس و دامنه هارمونیک های میانی با استفاده از FFT و GHW بررسی و بحث شده است. به منظور نمایش آسان، ابتدا فقط یک مولفه هارمونیک به صورت زیر با شکل موج اصلی (فرکانس Hz 50 و دامنه 1) جمع شده و بررسی می گردد:

$$i_a = A_a \sin(\omega_a t + \varphi_a) \quad (11)$$

برای این منظور شکل موج هارمونیک رابطه (11) با حالت های متفاوت انحراف های فرکانسی بزرگ و کوچک به شکل موج اصلی افزوده می شود. سپس FFT شکل موج حاصل در شکل های مربوطه نمایش داده می شود. همچنین با استفاده از روش GHW، مقادیر F.D.R. و R.A. مربوطه نیز محاسبه شده و با نتایج FFT مقایسه می گردند. لازم به ذکر است که در استفاده از روش GHW، مقدار $\tau = 4$ که در [7] به عنوان مطلوب ترین مقدار پهنای باند توصیه گردیده، استفاده شده است.

1. Restored Amplitude
2. Restored Amplitude at System Frequency

بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق



شکل ۵: طیف فرکانسی ۵۰/۲ هرتز

مقدار F.D.R. و R.A. در فرکانس سیستم با استفاده

از روابط (۸) و (۹) محاسبه می گردند:

$$F.D.R.=0.201\approx 0.2$$

$$R.A.=1.064$$

فرکانس سیستم در این حالت معادل با ۵۰/۲ Hz منطبق با فرکانس واقعی، بدست می آید. همانطور که مشاهده می شود، R.A. به میزان ۰/۰۶۴ در مقایسه با دامنه واقعی افزایش می یابد که به علت پهنای باند نامناسب می باشد. بر این اساس، R.A. به اصلاح شدن نیاز دارد. یعنی هنگامی که فرکانس اصلی سیستم دارای جابجایی باشد ابتدا R.A.S.F. مربوط به آن جابجایی را محاسبه کرده و سپس R.A. بدست آمده برای هر طیف را بر مقدار R.A.S.F. تقسیم کرده تا R.A. اصلاح شده بدست آید. از طرف دیگر، محاسبه F.D.R. بدون هیچ گونه اصلاحی همچنان دقیق باقی می ماند. لازم بذکر است هرچه انحراف فرکانس اصلی بیشتر باشد، R.A.S.F. مقدار بزرگتری بدست می آید.

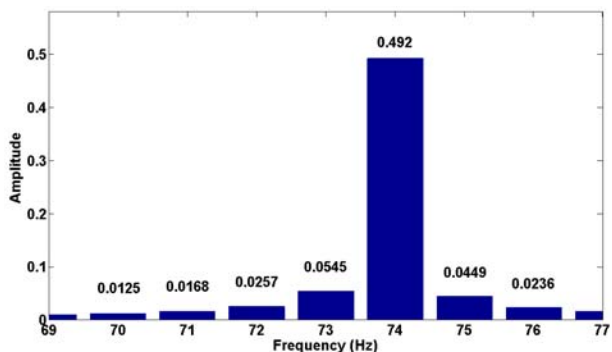
جهت نشان دادن عدم دقت روش FFT در مواقعی که فرکانس اصلی سیستم تغییر کند می توان مورد ۱ در بخش ۲-۱ را تحت فرکانس اصلی ۵۰/۲ Hz (تغییر به مقدار ۰/۲) مورد بررسی قرار داد..

نتایج آنالیز طیف با استفاده از FFT در شکل (۶) نشان داده شده است. بر مبنای این نتایج، مقدار F.D.R. عبارتست از:

$$F.D.R.=0.1411\approx 0.1$$

فرکانس هارمونیک میانی در این حالت معادل ۷۳/۱ Hz است، که نزدیک به فرکانس واقعی می باشد. مقدار R.A. برای

مورد ۲: حالت انحراف بزرگ فرکانس، $f_a=73.9\text{ Hz}$, $\theta=0^\circ$, $A_a=0.5$



شکل ۴: طیف فرکانسی ۷۳/۹ بدون جابجایی فرکانس اصلی

نتایج آنالیز طیف با استفاده از FFT در شکل (۵) نشان داده شده است. بر مبنای این نتایج، مقدار F.D.R. برای بیش از ۷۳ به صورت رابطه (۸) قابل محاسبه است:

$$F.D.R.=0.8846\approx 0.9$$

فرکانس هارمونیک میانی در این حالت برابر $73+0/9$ یعنی ۷۳/۹ Hz است، که منطبق با فرکانس واقعی می باشد. مقدار R.A. برای این هارمونیک از طریق رابطه (۹) محاسبه می شود:

$$R.A.=0.4990\approx 0.5$$

دامنه نیز تقریباً برابر ۰/۵ است، که منطبق با دامنه واقعی می باشد.

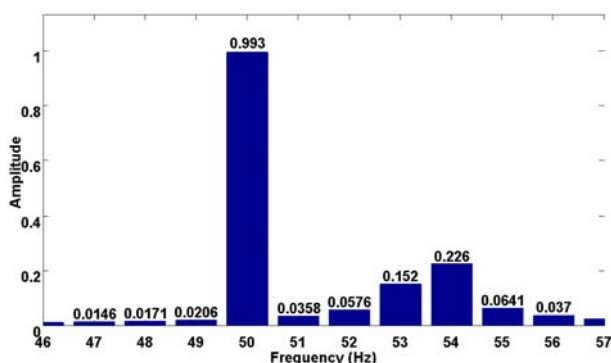
با مشاهده شکل (۴) می توان دریافت از آن جا که انحراف فرکانسی بزرگ است، فرکانس بدست آمده در روش FFT مقدار صحیح بزرگتر از فرکانس واقعی می باشد. در صورتی که با استفاده از روش GHW می توان به مقدار دقیق فرکانس هارمونیک های میانی دست یافت.

دامنه هارمونیک در دو روش FFT و GHW در حالتی که فرکانس سیستم ثابت باشد، مقداری نسبتاً یکسان بوده و اختلاف زیادی نخواهند داشت.

۲-۱-۲ جابجایی فرکانس سیستم صفر نباشد (فرکانس سیستم جابجایی داشته باشد)

فرکانس اصلی با جابجایی کوچک برابر ۵۰/۲ Hz و دامنه آن برابر عدد ۱ نرمالیزه شده است. نتایج آنالیز طیف در این فرکانس اصلی با استفاده از FFT در شکل ۵ نشان داده شده است.

بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق



شکل ۷: طیف فرکانس ۵۳/۶ هرتز با $\tau=4$

برای تحلیل هارمونیک چنین حالتی طبق روش GHW باید پهنای باند مناسبی جهت بررسی طیف هارمونیک انتخاب نمود. با اعمال الگوریتم GHW به سیگنال $y(t)$ با فرض $\tau=4$ خواهیم داشت:

$$F.D.R._1=0.201 \approx 0.2205, \quad R.A._1=1.0323$$

$$F.D.R._2=0.201 \approx 0.1921, \quad R.A._2=1.0350$$

همانطور که در شکل (۷) مشخص است، روش FFT تنها توانسته تا حدی دامنه هارمونیک میانی را محاسبه نماید اما طبق حالات قبل، از بدست آوردن مقدار دقیق فرکانس آن عاجز است. اما نکته اصلی نقص روش GHW در محاسبه فرکانس و دامنه هارمونیک میانی است. همانطور که در محاسبات مربوطه مشاهده می شود، این مقادیر کاملاً اشتباه بوده و درستی این روش را مورد تردید قرار می دهد. با تحلیل پهنای باند توصیه شده می توان به این نکته پی برد که فرکانس های بکار رفته در این قسمت دچار اختلاط می شوند:

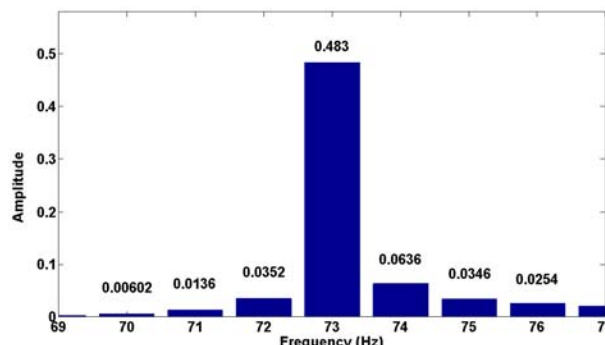
$$46 < f_1 < 54$$

$$50 < f_2 < 58$$

با توجه به این مقادیر مشاهده می شود در بازه $[50, 54]$ هرگز تداخل فرکانسی مانع از محاسبه درست فرکانس و دامنه هارمونیک میانی شده است. لذا پهنای باند باید مقداری کمتر انتخاب شود. مشکل تداخل در محدوده فرکانسی برای حالتی که یک زیرهارمونیک نزدیک هارمونیک اصلی باشد نیز در صورت انتخاب پهنای باند بزرگ پیش می آید که برای رفع این مشکل نیز باید پهنای باند را کاهش داد. اما در روش ارائه شده در این مقاله پهنای باند از طریق

این هارمونیک از طریق رابطه (۹) محاسبه می شود:

$$R.A.=0.4905 \approx 0.5$$



شکل ۶: طیف فرکانسی ۷۳/۹ همراه با جابجایی فرکانس اصلی

همانطور که مشاهده می شود، نتایج روش های FFT و GHW در حالت تغییر فرکانس اصلی سیستم دچار اختلاف زیادی شده است. یکی از محدودیت های روش FFT در همین حالت می باشد. اما روش GHW توانسته تا حد نزدیکی مقادیر واقعی را محاسبه نماید. البته باید توجه نمود که با افزایش پهنای باند، نتایج دقیقتری در دامنه هارمونیک میانی (R.A.) حاصل خواهد شد، اما در تشخیص مقدار فرکانس هارمونیک میانی دچار اختلاط فرکانسی با هارمونیک های مجاور شده و نتیجه خوبی نخواهد داد. همانطور که ذکر شد، در مرجع [۷] مقدار عددی τ به عنوان مناسبترین پهنای باند در نظر گرفته شده که در محاسبات فوق نیز همین مقدار بکار گرفته شده است.

۳- الگوریتم محاسبه پهنای باند

یکی دیگر از محدودیت های روش GHW زمانی است که سیگنال ولتاژ یا جریان، دارای یک هارمونیک میانی نزدیک یک هارمونیک باشد. $y(t)$ را بعنوان یک سیگنال ولتاژ یا جریان فرض کنید:

$$y(t) = A_1 \cos(2\pi f_1 t) + A_2 \cos(2\pi f_2 t) \quad (12)$$

که دارای فرکانس $f_1=50/0$ Hz بعنوان هارمونیک اصلی با دامنه $A_1=1$ و فرکانس $f_2=53/6$ Hz بعنوان یک هارمونیک میانی با دامنه $A_2=0/3$ می باشد.

بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق

۴- شبیه سازی و مقایسه نتایج

در این قسمت شبیه سازی عددی جهت اثبات الگوریتم ارائه شده انجام گردیده است. این شبیه سازی ها در ۲ حالت اصلی و ۲ حالت فرعی انجام شده است. در حالت اصلی اول، ابتدا چند موج با فرکانس متفاوت که در [۷] نیز استفاده شده، مورد شبیه سازی قرار گرفته است. سپس دو حالت ثابت ماندن فرکانس اصلی و تغییر آن به عنوان دو حالت فرعی شبیه سازی شده و نتایج آن آمده است. در حالت اصلی بعدی، چند موج با فرکانس های دیگر که با استفاده از پهنای باند پیشنهادی در [۷] امکان اختلاط فرکانسی آن ها وجود دارد، استفاده شده و دو حالت فرعی روی آن ها اعمال شده اند. نتایج نشان دهنده کارایی الگوریتم پیشنهادی در محاسبه مناسبترین پهنای باند می باشد.

۴-۱ استفاده از شکل موج ها با اختلاف فرکانسی زیاد

در این قسمت موج هایی با مشخصات موجود در [۷] مورد بررسی قرار گرفته اند که در زیر مشاهده می نمایید.

$$s(t) = 0.3 \cos(2\pi f_1 t + 90^\circ) + 1.0 \cos(2\pi f_2 t) + 0.4 \cos(2\pi f_3 t + 40^\circ) + 0.5 \cos(2\pi f_4 t + 70^\circ) + 0.2 \cos(2\pi f_5 t + 50^\circ) + 0.1 \cos(2\pi f_6 t + 80^\circ) \quad (13)$$

مقادیر فرکانس ها نیز در جدول زیر آمده است:

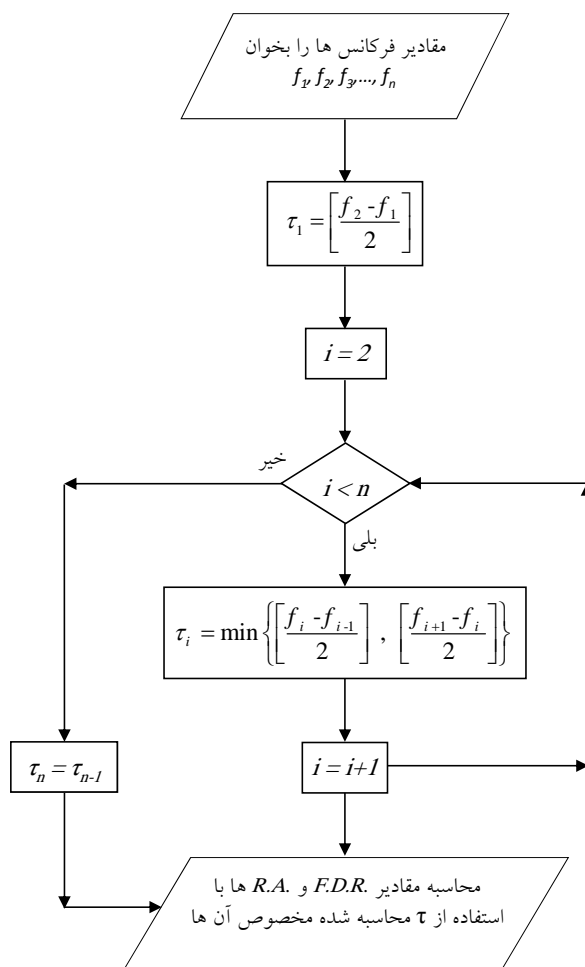
جدول ۱: مقادیر فرکانس در رابطه (۱۳)

f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
۱۹/۲ Hz	۵۰/۰ Hz	۹۸/۷ Hz	۲۵۰/۰ Hz	۳۵۰/۰ Hz	۴۵۰/۰ Hz

حال در حالتی که فرکانس سیستم اصلی ثابت باشد (Hz) (۵۰) با استفاده از مقدار پهنای باند $\tau=4$ که در [۷] توصیه شده شبیه سازی عددی انجام می شود. سپس با استفاده از الگوریتم پیشنهادی این شبیه سازی را دوباره انجام داده و نتایج دو روش باهم در جدول (۲) مقایسه می شود.

الگوریتم زیر جهت تعمیم در مواردی که شکل موج شامل هارمونیک های اصلی و میانی و زیرهارمونیک باشد، محاسبه می گردد.

فرض می کنیم فرکانس شکل موج های اصلی و هارمونیک موجود به ترتیب $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$ باشد. با توجه به شکل (۸) مقدار پهنای باند برای هر فرکانس بدست آمده و می تواند در محاسبات مربوطه استفاده شود.



شکل ۸: الگوریتم پیشنهادی محاسبه پهنای باند در روش GHW

همانطور که مشاهده می شود با استفاده از این الگوریتم مقدار پهنای باند برای هر تعداد هارمونیک قابل محاسبه است. همچنین مقدار پهنای باند به اندازه کافی بزرگ می باشد تا مقدار دامنه هارمونیک با تقریب دقیقتری بدست آید. این مقدار پهنای باند نه تنها با اندازه کافی بزرگ می باشد، بلکه از تداخل فرکانسی نیز جلوگیری می نماید.

بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق

۴-۱ استفاده از شکل موجها با اختلاف فرکانسی کم جهت ایجاد تداخل فرکانسی

در این قسمت موج های رابطه (۱۲) را از طریق روش پیشنهادی ارائه شده مورد شبیه سازی قرار می دهیم تا تداخل فرکانسی نیز مدل شود.

جدول ۴: دامنه و فرکانس هارمونیک های رابطه (۱۲)

با تداخل فرکانسی و بدون تغییر فرکانس سیستم

	مقدار واقعی	استفاده از پهنای باند $\tau=4$	استفاده از پهنای باند با الگوریتم پیشنهادی
RA_1	۱/۰	۱/۰۳۲۳	۰/۹۹۳۶
$FD.R_1$	۰	۰/۲۲۰۵	۰/۰۳۴۸
RA_2	۰/۳	۱/۰۳۵۰	۰/۲۷۸۷
$FD.R_2$	۰/۶	۰/۱۹۲۱	۰/۵۸۱۶

جدول ۵: دامنه و فرکانس هارمونیک های رابطه (۱۲)

با تداخل فرکانسی و با تغییر فرکانس سیستم

	مقدار واقعی	استفاده از پهنای باند $\tau=4$	استفاده از پهنای باند با الگوریتم پیشنهادی
RA_1	۱/۰	۱/۰۳۶۸	۰/۹۸۳۶
$FD.R_1$	۰/۲	۰/۲۸۲۰	۰/۱۹۱۱
RA_2	۰/۳	۱/۰۳۵۵	۰/۳۰۴۱
$FD.R_2$	۰/۶	۰/۲۱۲۲	۰/۵۷۷۹

همانطور که در جداول (۴) و (۵) مشاهده می شود، در حالتی که تداخل فرکانسی وجود دارد، مقدار پهنای باند ۴ منجر به نتایج نامناسبی شده است که با واقعیت اخلاف زیادی دارد. اما با محاسبه پهنای باند توسط الگوریتم پیشنهادی نه تنها از تداخل فرکانسی جلوگیری می شود، بلکه نتایج دقیقتری هم در محاسبه دامنه و فرکانس هارمونیک ها بدست می آید.

۵- نتیجه گیری

شناسایی هارمونیک های میانی با استفاده از روش وزن گذاری گروه هارمونیک مبتنی بر FFT به منظور محاسبه دقیق و کارآمد دامنه و فرکانس هارمونیک های میانی توسعه داده شده است. نتایج تأیید می کنند که روش GHW می تواند حتی با شرایط تغییر فرکانس سیستم خود را وفق دهد. امری که با

جدول ۲: دامنه و فرکانس هارمونیک های $s(t)$ بدون

تغییر فرکانس سیستم با مقادیر فرکانسی جدول (۱)

	مقدار واقعی	استفاده از پهنای باند $\tau=4$	استفاده از پهنای باند با الگوریتم پیشنهادی
RA_1	۰/۳	۰/۲۹۸۱	۰/۳۰۰۱
$FD.R_1$	۰/۲	۰/۲۱۸۴	۰/۲۲۴۹
RA_2	۱/۰	۰/۹۹۷۱	۰/۹۹۷۲
$FD.R_2$	۰	۰/۰۰۶۹	۰/۰۱۴۰
RA_3	۰/۴	۰/۳۹۳۶	۰/۳۹۸۶
$FD.R_3$	۰/۷	۰/۶۷۸۴	۰/۶۷۳۳
RA_4	۰/۵	۰/۵۰۰۲	۰/۵۰۰۲
$FD.R_4$	۰	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۴۰
RA_5	۰/۲	۰/۲۰۰۱	۰/۲۰۰۱
$FD.R_5$	۰	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۴۷
RA_6	۰/۱	۰/۱۰۰۰	۰/۱۰۰۰
$FD.R_6$	۰	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۶۱

جدول (۳) نتایج محاسبات را در حالتی که فرکانس اصلی

سیستم ۰/۲ تغییر داشته و ۵۰/۲ Hz باشد، نشان می دهد.

همانطور که در جداول (۲) و (۳) مشاهده می شود، در حالتی که تداخل فرکانسی وجود نداشته باشد، پهنای باند توصیه شده در [۷] و محاسبه شده توسط الگوریتم پیشنهادی منجر به نتایج تقریباً یکسانی شده اند. حتی در برخی موارد پهنای باند پیشنهادی عملکرد دقیقتری را در پی داشته است.

جدول ۳: دامنه و فرکانس هارمونیک های $s(t)$

با تغییر فرکانس سیستم با مقادیر فرکانسی جدول (۱)

	مقدار واقعی	استفاده از پهنای باند $\tau=4$	استفاده از پهنای باند با الگوریتم پیشنهادی
RA_1	۰/۳	۰/۳۰۲۲	۰/۳۰۵۱
$FD.R_1$	۰/۲	۰/۱۹۸۱	۰/۲۰۲۵
RA_2	۱/۰	۰/۹۹۰۱	۰/۹۹۵۷
$FD.R_2$	۰/۲	۰/۲۳۳۱	۰/۲۳۰۶
RA_3	۰/۴	۰/۳۹۳۸	۰/۴۰۰۷
$FD.R_3$	۰/۷	۰/۶۷۶۹	۰/۶۶۷۶
RA_4	۰/۵	۰/۴۹۹۲	۰/۴۹۹۵
$FD.R_4$	۰	۰/۰۰۶۷	۰/۰۲۱۴
RA_5	۰/۲	۰/۱۹۹۶	۰/۲۰۰۰
$FD.R_5$	۰	۰/۰۱۲۸	۰/۰۴۲۰
RA_6	۰/۱	۰/۰۹۹۹	۰/۱۰۰۵
$FD.R_6$	۰	۰/۰۲۲۷	۰/۰۷۴۴

بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق

DFT و FFT رایج امکان محقق شدن نداشت. در مکان مولفه های هارمونیک های میانی هیچ محدودیتی از نظر تئوری وجود ندارد. اما پهنای باند گروه (τ) هر هارمونیک میانی باید بصورت مناسب انتخاب شود. لذا دقت در تعیین مقدار پهنای باند بصورت بهینه حائز اهمیت می باشد. یکی از معایب روش GHW استفاده از پهنای باند یکسان برای همه فرکانس ها بود که با ارائه الگوریتم پیشنهادی اصلاح شده است. با استفاده از الگوریتم پیشنهادی در محاسبه پهنای باند، مقادیر مناسبی از τ برای هر فرکانس بدست خواهد آمد که نتایج بهتری در شبیه سازی های عددی از خود نشان می دهد، مخصوصا هنگامی که فرکانس های هارمونیک ها نزدیک هم بوده و احتمال تداخل دارند.

مراجع

- [1] E.L. Owen, "A History of Harmonics in Power Systems", IEEE Industry Application Magazine, January/February 1998, pp. 6-12
- [2] Z. Leonowicz, T. Lobos, J. Rezmer, "Advanced Spectrum Estimation Methods for Signal Analysis in Power Electronics", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 50, No. 3, 2003, pp. 1-6.
- [3] M. Karimi-Ghartemani, M.R. Iravani, "Measurement of harmonics/inter-harmonics of time-varying frequency", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, No. 1, 2005, pp.23-31.
- [4] H.C. Lin, "Intelligent neural network based adaptive power line conditioner for real-time harmonics filtering", IEE Generation Transmission Distribution, Vol. 151, No. 5, 2004, pp.561-567.
- [5] H.K. Kwok, D.L. Jones, "Improved instantaneous frequency estimation using an adaptive short-time Fourier transform", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 48, No. 10, 2000, pp.2964-2972.
- [6] J.A. Macias, A. Gomez, "Self-tuning of Kalman filters for harmonic computation", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 21, No. 1, 2006, pp.501-503.
- [7] H.C. Lin, "Inter-Harmonic Identification Using Group-Harmonic Weighting Approach Based on the FFT", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 23, No.3, 2008, pp. 1309-1319.
- [8] Testing and measurement techniques: Harmonics and interharmonics: General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation for power supply systems and equipment connected thereto, IEC Standard 61000-4-7, 2002.
- [9] S. Moo, Y.N. Chang, "Group harmonic identification in power system with non-stationary waveforms", IEE Generation Transmission Distribution, Vol. 142, No. 5, 1995, pp. 517-522.