سیزدهمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق
۱۱و ۱۲ اردیبهشت ۱۳۸۷- گیلان

پیاده سازی یک سیستم خبره مبتنی بر تبدیل موجک برای آشکار سازی و طبقه بندی انواع اختلالات کیفیت توان

فرهاد یزدی

شرکت توزیع نیروی برق تهران بزرگ

واژه های کلیدی : کیفیت توان، تبدیل موجک، منطق فازی

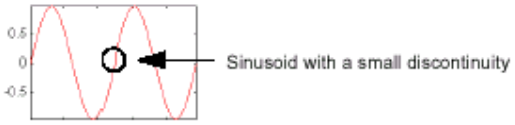
۱-مقدمه :

تبدیل موجک یکی از ابزارهای بسیار کارا برای تجزیه و تحلیل سیگنالهاست. تبدیل موجک دارای این مزیت است که اطلاعات زمانی سیگنالها را نیز حفظ می کند. از طرفی، منطق فازی از ابزارهای مهمی است که در شرایط وجود ابهام و عدم قطعیت بر اساس منطق خاص و توابع عضویت تعریف شده، به عنوان ابزاری جهت اتخاذ تصمیم ها مورد استفاده قرار می گیرد. در این مقاله ابتدا تبدیل موجک و نحوه بکارگیری آن در تجزیه و تحلیل سیگنال ورودی (جریان یا ولتاژ شبکه) و استخراج ویژگیها مورد نظر بیان شده و سپس یک سیستم منطق فازی برای آشکار سازی و طبقه بندی اختلالات کیفیت توان معرفی گردیده است. برای انجام محاسبات و شبیه سازیهای مورد نیاز نیز از نرم افزار MATLAB کمک گرفته شده است.

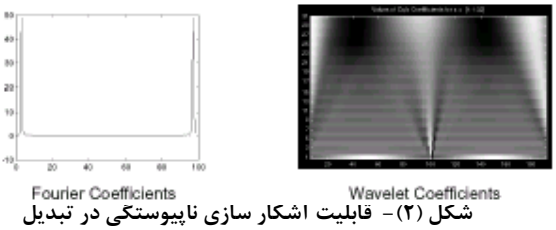
۲-تبدیل موجک:

موجک یک موج با طول مؤثر محدود است که مقدار متوسط آن برابر صفر می باشد. اصولا به دلیل غیر قابل پیش بینی بودن شکل موجکها، آنها را برای تجزیه و تحلیل امواج گذرا و دارای اعوجاجات زیاد مورد استفاده قرار می دهند.

یکی دیگر از قابلیتهای بسیار مهم تبدیل موجک، توانایی تجزیه و تحلیل محلی سیگنالهاست. به عبارت دیگر، برای تجزیه و تحلیل یک ناحیهٔ کوچک از یک سیگنال بزرگ، بسیار مناسب است. *برای توضیح قابلیت اخیر، شکل (۱) را مورد ملاحظه قرار می دهیم. در این شکل، یک موج سینوسی دارای گسستگی بسیار کوتاه مدت نشان داده شده است.* این ناپیوستگی ممکن است آنقدر کوچک باشد که حتی با چشم نیز قابل رؤیت نباشد (به عنوان مثال، نوسان توان یا کلید نویزی یا بروز نوسان در چرخش توربین بادی و در نتیجه توان خروجی آن)، با این وجود رسم ضرایب موجک به طور واضح محل و زمان رخداد ناپیوستگی را مشخص می کند.



شکل (۱) - بروز ناپیوستگی کوچک در شکل موج سینوسی



شکل (۲)- قابلیت اشکار سازی ناپیوستگی در تبدیل موجک در مقایسه با تبدیل فوریه

۲-۱-تبدیل موجک گسسته :

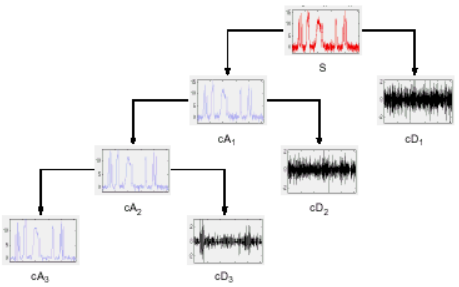
یکی از کاراترین راههای بکارگیری تبدیل موجک گسسته، استفاده از فیلترهایی است که در سال ۱۹۸۸ و توسط Mallat توسعه یافته - اند. آلگوریتم Mallat یک طرح کلاسیک است که در مراجع مربوی به علم تجزیه و تحلیل سیگنال، به عنوان «کد کنندهٔ دو کانالهٔ باند فرعی» شناخته می شود.

فیلتر کردن تک مرحله ای : تقریبها (Approximations) و جزئیات (Details) :

در بسیاری از سیگنالها، محتوای فرکانس پایین بسیار با اهمیت تر از باقیماندهٔ سیگنال می باشد. این قسمت از سیگنال معرفهٔ اصلی خود سیگنال می باشد. در عوض، کاربردهای خاضی میز می توان معرفی نمود مه در آن محتوای فرکانس بالا یا معرفهٔ نوانس (Flavor) مهمتر است. تقریبها مؤلفهٔ مقیاس بالا - فرکانس پایین و جزئیات مؤلفهٔ مقیاس پایین - فرکانس بالای سیگنال هستند. فرآیند فیلتر کردن با تجزیه سیگنال (در ۳ سطح) در شکل(۳) نشان داده شده است .

عمل تجزیه را می توان به دفعات تکرار نمود. با تکرار عمل تجزیهٔ تقریبها، سیگنال به تعداد زیادی از مؤلفه ها با رزولوشن (تفکیک پذیری) پایین تر تجزیه می گردد. این فرآیند توسط درخت تجزیهٔ موجک نشان داده می شود (شکل ۳).

از آنجا که فرآیند تجزیه و تحلیل تکراری است، از لحاظ تئوری می توان آنرا تا بینهایت بار تکرار نمود. در حقیقت، عمل تجزیه تا بدانجا می تواند ادامه یابد که جزئیات تنها شامل یک نمونه (Pixel) باشند. در عمل ، باید تعداد سطوح مناسبی را بر پایهٔ طبیعت سیگنال انتخاب نمود و یا معیار مناسبی را مورد استفاده قرار داد.



شکل (۳) - درخت تجزیهٔ موجک تا ۳ سطح

بازسازی به معنای ایجاد سیگنال اولیه از روی تقریبها و جزئیات است، بدون آنکه اطلاعاتی از بین برود. این فرآیند یکی دیگر از ابعاد تبدیل موجک است و به طور خلاصه «بازسازی یا سنتز» نامیده می شود. عمل ریاضی که برای سنتز سیگنال استفاده می شود، "معکوس تبدیل موجک گسسته" نامیده می شود.

۲-۲-منحنی مشارکت جزئیات:

"منحنی مشارکت تقریبها" یکی از روشهای تجزیه و تحلیل اعوجاجات سیگنالها در برشهای مختلف فرکانسی است. این منحنی با رسم مقدار تابع $\mu(Hm)$ ایجاد می شود :

$$\mu(Hm) = \frac{(d_m)^2}{\sum_{m=1}^{n}(d_m)^2 + (C_m)^2}$$

که در رابطه فوق، dm بیانگر جزئیات در تجزیه مرتبه m و Cm بیانگر تقریب مرتبه m می باشد . منحنی اخیر برای یک شکل موج سینوسی خالص با دامنه ۱ پریونیت در شکل

شماره (۵) نمایش داده شده است. این شکل با استفاده از مقادیر تقریبها و جزئیات بدست آمده در شکل (۴) ترسیم گردیده است.
نشان خواهیم داد که با مقایسهٔ منحنی $\mu(Hm)$ یک سیگنال دارای اعوجاج با منحنی $\mu(Hm)$ یک سیگنال سینوسی، می توان اختلالاتی چون شکم، برآمدگی، قطعی و هارمونیک ها را در شکل موجهای ولتاژ و جریان آشکار ساخت . با این حال، بکارگیری یک سیستم منطق فازی دو ورودی استلزام Mamdani (یکی از ورودیهای جزئیات سیگنال و دیگری انرژی می باشد) که برای شرایط تصمیم گیری محلی موردنیاز برای طبقه بندی اختلالات کیفیت توان بسیار مناسب است، مراحل تشخیص و طبقه بندی اختلالات را بسیار آسانتر خواهد نمود.
موجک انتخابی در روش معرفی شده نیز Daubechies 4 است که معمولا برای بررسی مسائل مرتبط با اختلالات کیفیت توان استفاده می شود.
بر اساس قضیه پارسوال، انرژی نهفته در موج اصلی با مجموع انرژیهای نهفته در تقریب مرحله ۱ و جزئیات مرحله ۱ تا m برابر است. منحنی شکل (۶) توزیع انرژی در جرئیات ۱ تا ۲۰ را برای یک موج سینوسی خالص نشان می دهد. در این شکل چنانچه درصد انرژی کل را ۱۰۰ درصد فرض کنیم، داریم :
:

$$E(t) = 100$$

$$\sum_{i=1}^{20} Ed_i = 22.42$$

$$Ea_{20} = 77.58$$

که در آن، قانون پارسوال به صورت زیر برقرار است :

$$E(t) = \sum_{i=1}^{n} Ed_i + Ea_n$$

در رابطه فوق $E(t)$ انرژی کل سیگنال، Ed_i انرژی جزئیات مرتبه I ام و Ea_n تقریب در آخرین مرحله تجزیه می باشد.
همچنین برای محاسبه انرژی کل سیگنال سینوسی خالص از طریق کد نویسی در Matlab داریم :

```
[C,L]=wavedec(y,1,'db4');
Et = sum(C.^2)
```

برای یک موج سینوسی خالص مقدار انرژی برابر است با : $Et = 1.5708 \quad e+003$

۳- سیستم منطق فازی :

شکل (۷) سیستم منطق فازی بکارگرفته شده را که همچون یک سیستم خبره، وظیفه تشخیص و طبقه بندی اختلالات کیفیت توان را بر عهده دارد نشان می دهد. توابع عضویت ورودیها و خروجی و همچنین نمودار عضویت Surface نیز در شکلهای ۸ تا ۱۰ ارائه شده است. قوانین تشخیص و طبقه بندی اختلالات را می توان بصورت زیر تعریف نمود:

- 1. If (DWT is Surge) and (Energy is HV) then (Disturbance is surge) (1)
- 2. If (DWT is Harmonics) and (Energy is LV) then (Disturbance is Harmonics) (1)
- 3. If (DWT is SubHarm) and (Energy is LV) then (Disturbance is SubHarmonics) (1)
- 4. If (DWT is Normal) and (Energy is HV) then (Disturbance is swell) (1)
- 5. If (DWT is Normal) then (Disturbance is outage) (1)
- 6. If (DWT is Normal) and (Energy is LV) then (Disturbance is Sag) (1)
- 7. If (DWT is Normal) and (Energy is NV) then (Disturbance is good) (1)
- 8. If (DWT is Harmonics) and (Energy is HV) then (Disturbance is Harmonics) (1)
- 9. If (DWT is SubHarm) and (Energy is HV) then (Disturbance is SubHarmonics) (1)

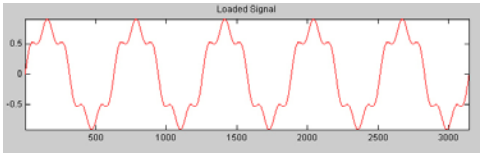
با توجه به مقادیر حاصل شده از جزئیات تبدیل موجک (بصورت منحنی مشارکت جزئیات و بعنوان ورودی اول) و مقدار انرژی کل سیگنال (ورودی دوم)، امکان تشخیص و دسته بندی اختلالات کیفیت

توان مطابق با تابع عضویت شکل (۷) فراهم خواهد شد.

۴- آشکارسازی اختلالات کیفیت توان:

در این بخش قصد بر آن است تا با ارائهٔ ۲ مثال، روش بکارگیری تئوری آشکار سازی و طبقه بندی اختلالات کیفیت توان در سیستم قدرت را با استفاده از روش معرفی شده در این مقاله بیان کنیم.

۴- الف : موج دارای هارمونیک سوم و پنجم :



منحنی متناظر $\mu(Hm)$ یا منحنی مشارکت جزئیات شکل موج فوق $(0.8Sin(t)+0.05Sin(3t)+0.15Sin(5t))$ در مقایسه با موج سینوسی کامل در شکل (۱۲) نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می شود، محتوای فرکانس بالای این موج در مقایسه با موج سینوسی بیشتر است. همچنین محاسبه انرژی سیگنال نشان می دهد که :

```
[C,L]=wavedec(k,1,'db4');
Et = sum(C.^2)
```

Et = $1.0446 \quad e+003$

از این رو با توجه به قانون دوم (بروز هارمونیک بدون افزایش دامنه) مبنی بر :

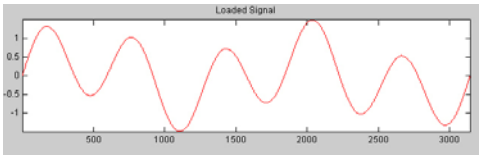
- 2. If (DWT is Harmonics) and (Energy is LV) then (Disturbance is Harmonics) (1)

نوع اختلال "هارمونیک" تعیین می شود. با استفاده از سیستم خبره فازی نیز داریم :

```
a=readfis ('pq_classifier');
evalfis([7 10.5],a)
Ans = 5.6758
```

که در روابط فوق ،عدد ۷ بیانگر درجه عضویت برای جزئیات، عدد ۱۰/۵ برابر مقدار انرژی و pq_classifier نام سیستم خبره فازی تعریف شده در Matlab است. خروجی Ans نیز بیانگر محاسبه خروجی سیستم فازی فوق است که در مقایسه با شکل ۱۰ ، نوع اختلال را هارمونیک تعیین نموده است.

۴-ب : موج دارای هارمونیک های کسری :



منحنی متناظر $\mu(Hm)$ شکل موج فوق $(0.8Sin(t)+0.2Sin(0.5t))$ در مقایسه با موج سینوسی کامل در شکل (۱۳) نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می شود، محتوای فرکانس پایین این موج در مقایسه با موج سینوسی بیشتر است. محاسبه انرژی سیگنال نشان می دهد که :

Et = $1.0681 \quad e+003$

از این رو با توجه به قانون سوم (بروز هارمونیک کسری بدون افزایش دامنه) مبنی بر :

3. If (DWT is SubHarm) and (Energy is LV) then (Disturbance is SubHarmonics) (1)

نوع اختلال هارمونیک تعیین می شود. با استفاده از سیستم خبره فازی نیز داریم :

```
a=readfis ('pq_classifier');
evalfis([10 10.7],a)
Ans = 10.9746
```

که در روابط فوق ، ۱۰ بیانگر درجه عضویت برای جزئیات، ۱۰/۷ برابر مقدار انرژی سیستم خبره فازی است. عدد ۱۰/۹۷۴۶ بعنوان خروجی سیستم فازی نیز نوع اختلال را هارمونیک کسری تعیین نموده است.

۵- نتیجه :

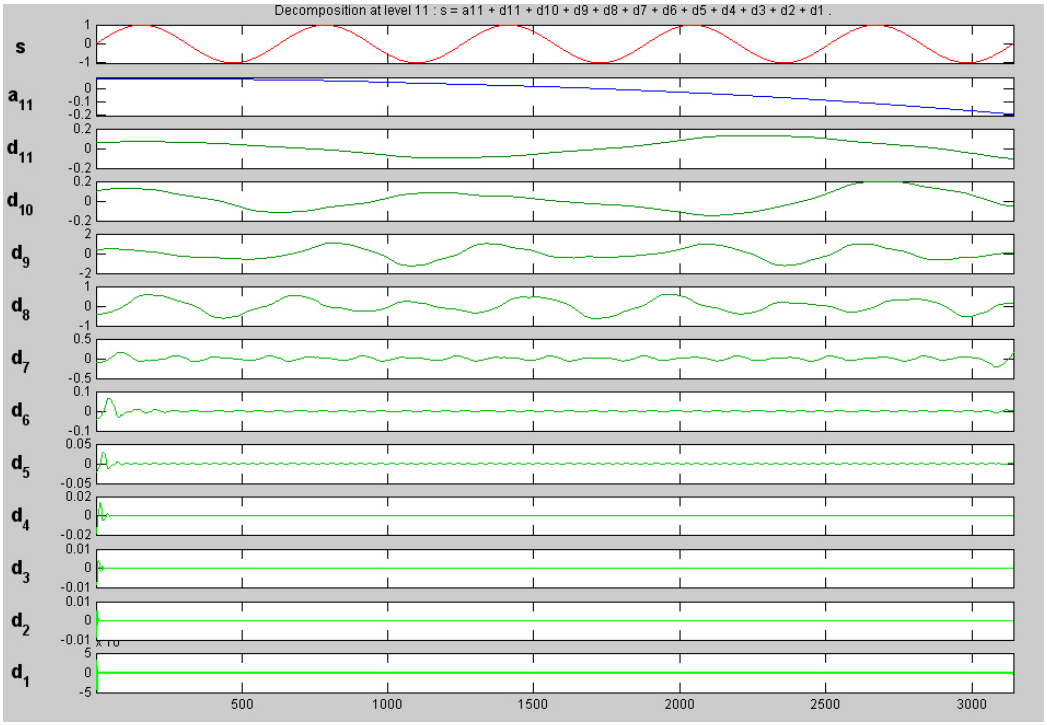
در این مقاله روشی کارا و ساده برای آشکار سازی و طبقه بندی اختلالات کیفیت توان ارائه گردید. در همین راستا علاوه بر بهبود آلگوریتم پیشنهاد شده در مرجع (۳) ، یک سیستم خبره از نوع فازی نیز جهت تسهیل طبقه بندی و خودکار نمودن روش پیشنهادی (برای کاربردهای عملی آتی) بکار گرفته شده است. روش مذکور علاوه بر کارآمدی، نسبت به روشهای دیگری چون روشهای مبتنی بر شبکه های عصبی، ساده تر بوده و بکارگیری آن در کاربردهای عملی ترجیح خواهد داشت.

۶- منابع و مراجع :

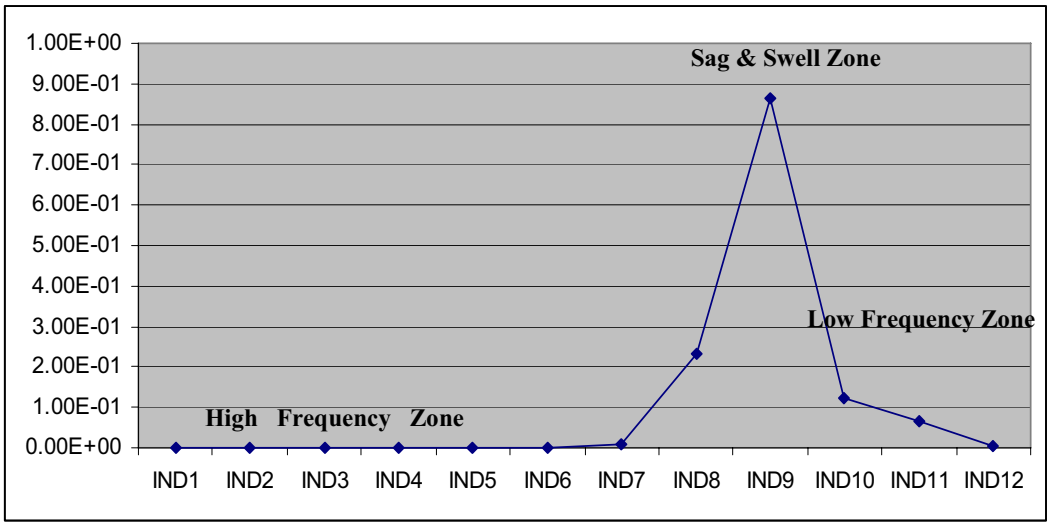
۱- P. Pillay and Bhattacharjee, “Power Quality Assessment via wavelet transform analysis”, **IEEE Transactions on Power System, vol. 11, no. 4, Nov. 1996.**

۲- P. Dash, S. Mishra,. Salma, and A.C. Liew “Classification of Power System **Disturbances Using a Fuzzy Expert System and a Fourier Linear Combiner.**

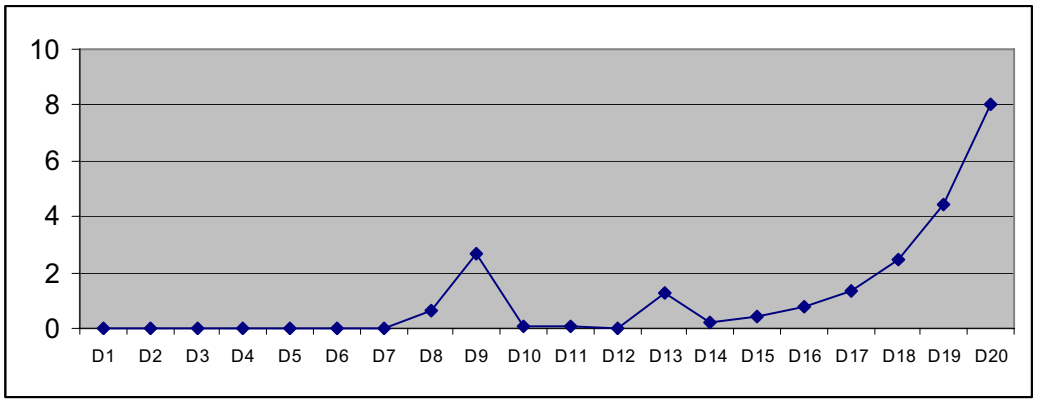
۳- "بکارگیری تبدیل موجک برای آشکار سازی و طبقه بندی انواع اختلالات کیفیت توان"، هشتمین کنفرانس شبکه های توزیع برق ، تهران، ۱۳۸۴



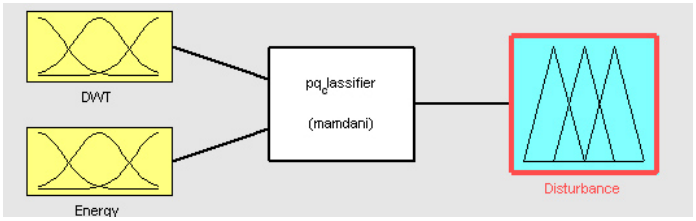
شکل (۴) - مرحلهٔ محاسبهٔ جزئیات و تقریب یک موج سینوسی تا مرحلهٔ یازدهم



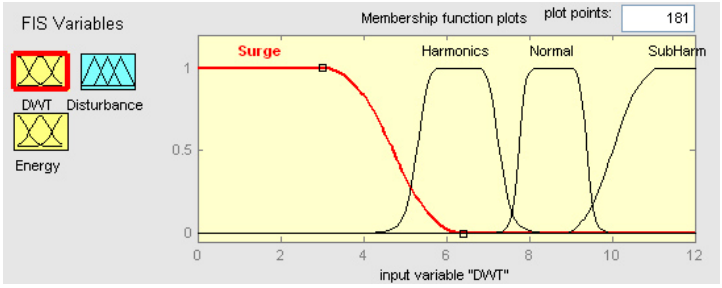
شکل (۵) – منحنی $\mu(Hm)$ متناظر با یک موج سینوسی کامل (با دامنه ۱ پریونیت) و نواحی مختلف موجود در آن



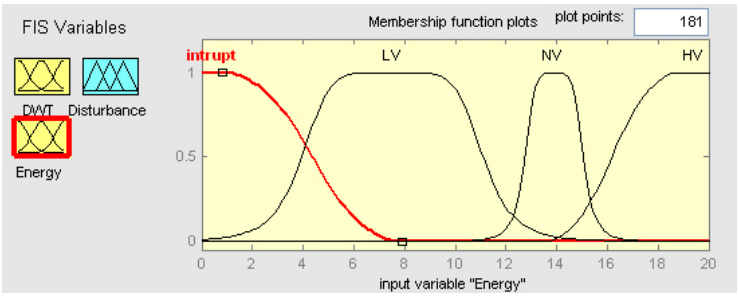
شکل (۶) – منحنی توزیع انرژی متناظر با با یک موج سینوسی کامل در جزئیات (با دامنه ۱ پریونیت)



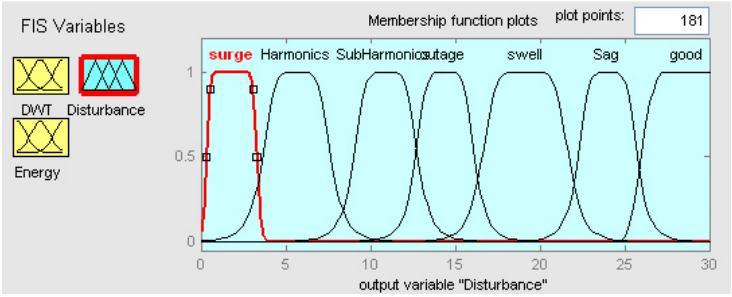
شکل (۷) – آرایش سیستم منطق فازی نوع **Mamdani**



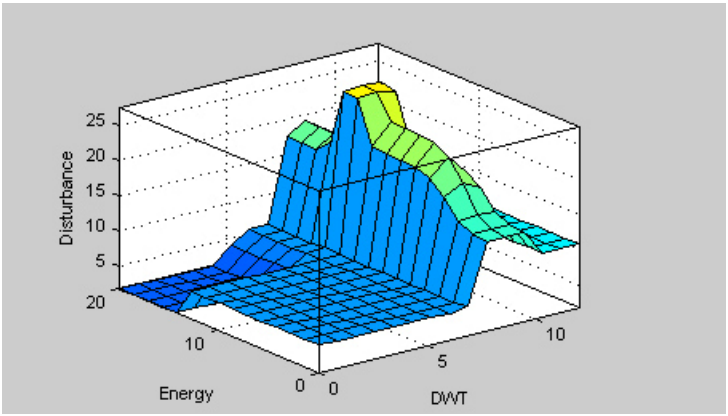
شکل (۸) - تابع عضویت ورودی DWT



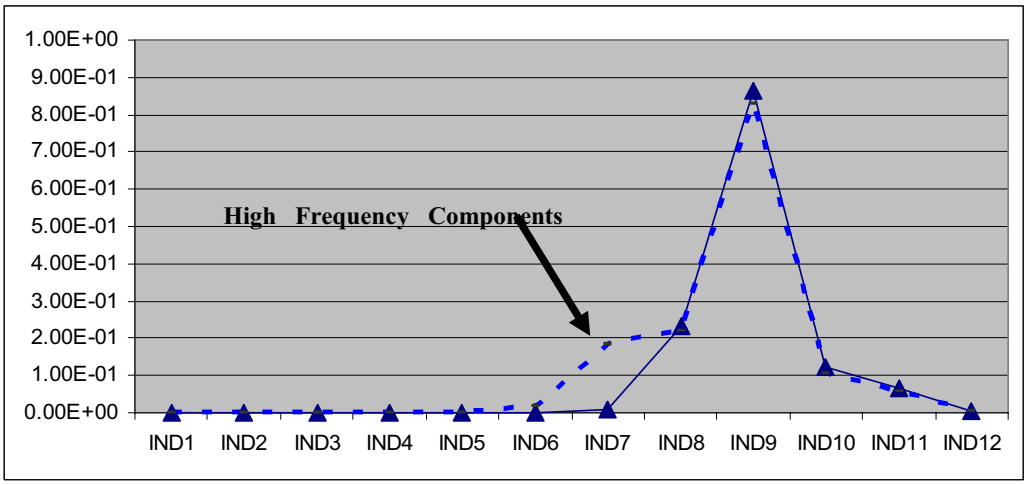
شکل (۹) - تابع عضویت ورودی Energy



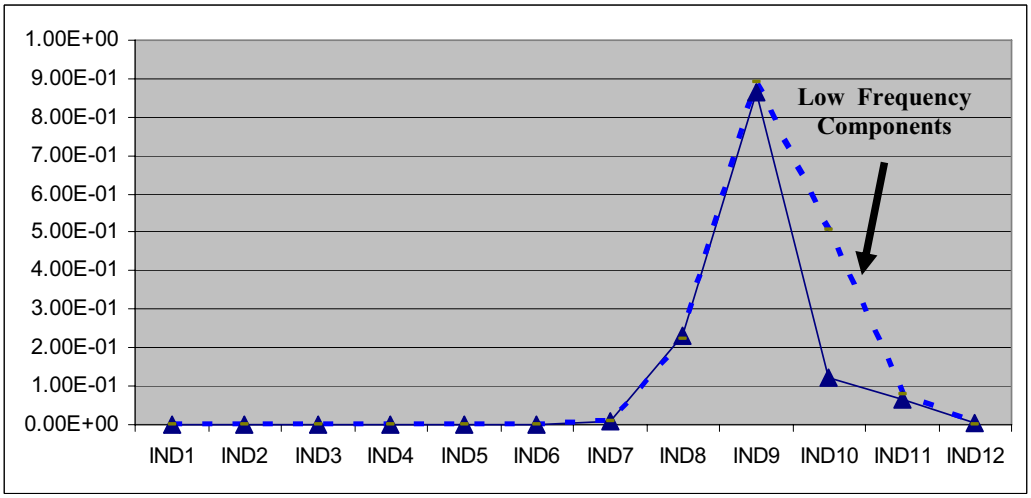
شکل (۱۰) - تابع عضویت خروجی



شکل (۱۱) - تابع عضویت سه بعدی



شکل (۱۲) - افزایش محتوای فرکانس بالای موج دارای هارمونیک سوم نسبت به موج سینوسی



شکل (۱۳) - افزایش محتوای فرکانس پایین موج دارای هارمونیک کسری (Sub Harmonic) نسبت به موج سینوسی