

# ارایه روشی ترکیبی نوین بر اساس نسل دوم تبدیل موجک و روش جابجایی فرکانس سانديا برای تشخیص کارکرد جزیره ای در تولیدات پراکنده مبتنی بر اینورتر

سید محسن حسین<sup>۱</sup> رضا نوروزیان<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد-دانشکده مهندسی-گروه مهندسی برق- دانشگاه زنجان- زنجان- ایران

[sm.hosseini@znu.ac.ir](mailto:sm.hosseini@znu.ac.ir)

<sup>۲</sup> دانشیار- دانشکده مهندسی-گروه مهندسی برق - دانشگاه زنجان- زنجان- ایران

[noroozian@znu.ac.ir](mailto:noroozian@znu.ac.ir)

**چکیده:** در این مقاله روش ترکیبی نوینی متشکل از دو روش پسیو و اکتیو برای تشخیص کارکرد جزیره ای در تولیدات پراکنده مبتنی بر اینورتر ارائه شده است. این روش دارای دو ناحیه عملکردی اکتیو و پسیو می باشد. در ناحیه عملکردی پسیو، روش ارائه شده انتروپی انرژی ولتاژ و فرکانس خروجی اینورتر را به کمک تبدیل موجک اندازه گیری می کند و در صورت افزایش آن از حد آستانه، این روش وارد ناحیه عملکردی اکتیو خود خواهد شد که با روش جابه جایی فرکانس سانديا پیاده سازی شده است. در ناحیه عملکردی اکتیو در صورت خروج فرکانس از حدود تعیین شده در استاندارد کارکرد جزیره ای تشخیص داده می شود و در غیر این صورت روش به ناحیه عملکرد پسیو خود باز می گردد. برای پیاده سازی تبدیل موجک در این مقاله از گام های لیفتینگ یا نسل دوم تبدیل موجک استفاده شده که اجازه پیاده سازی سریعتر تبدیل موجک را می دهد. مزیت روش ترکیبی ارائه شده نسبت به روش های پسیو کاهش ناحیه غیر قابل تشخیص و نسبت به روش های اکتیو و کاهش اغتشاش تزریق شده به سیستم می باشد. لازم به ذکر است که کلیه شبیه سازی ها و تست های انجام شده در محیط نرم افزار MATLAB / Simulink می باشد. نتایج به دست آمده، تأیید کننده ایده در تشخیص کارکرد جزیره ای ارائه شده در مقاله بوده است.

**کلمات کلیدی:** تولید پراکنده، اینورتر ولتاژ، نسل دوم تبدیل موجک، جابجایی فرکانس سانديا(SFS)، ناحیه غیر قابل تشخیص

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۲/۰۳/۰۳

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۳/۰۳/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۲/۳۰

نام نویسنده مسئول: سید محسن حسینی

نشانی نویسنده مسئول: دانشکده مهندسی برق- دانشگاه زنجان- زنجان- ایران

کارکرد جزیره ای غیر عمدی<sup>۱</sup> زمانی اتفاق می افتد که واحد تولید پراکنده به صورت مجزا از شبکه توان بار های محلی را تامین کند. عدم تشخیص کارکرد جزیره ای غیر عمدی اثراتی منفی بر روی تجهیزات و همچنین بر روی خود واحد تولید پراکنده خواهد داشت. از جمله اثرات منفی این کارکرد می توان به مشکلات کیفیت توان، تداخل با تجهیزات حفاظتی و ایمنی پایین برای مصرف کنندگان را نام برد. بنابراین برای جلوگیری از آسیب احتمالی نیاز به تشخیص به موقع کارکرد جزیره ای و جدا کردن واحد تولید پراکنده از شبکه می باشد [۱]، [۲]. وظیفه اصلی الگوریتم تشخیص جزیره ای، تشخیص دادن لحظه وقوع جزیره ای شدن و جدا کردن واحد تولید پراکنده در کمترین زمان است. با پیشرفت تکنولوژی و ایجاد ریز شبکه ها و حرکت به سمت شبکه های هوشمند برق، می توان پس از تشخیص کارکرد جزیره ای شبکه را به صورت جزیره ای مورد بهره برداری قرار داد [۳]، [۴].

به طور کلی روش های تشخیص کارکرد جزیره ای به سه گروه اصلی به نام های: روش های غیر فعال<sup>۲</sup>، فعال<sup>۳</sup> و روش های مخابراتی<sup>۴</sup> تقسیم بندی می شوند [۵]. اساس عملکرد روش های غیر فعال اندازه گیری های مختلف در نقطه وصل مشترک<sup>۵</sup> واحد تولید پراکنده به شبکه می باشد. از عیوب روش های غیر فعال ناحیه غیر قابل<sup>۶</sup> تشخیص بزرگ می باشد. به عنوان مثال NDZ رله های ولتاژ و یا فرکانسی شرایطی است که بار و تولید در جزیره توان با هم برابر باشند زیرا در این حالت این حفاظت ها قادر به تشخیص کارکرد جزیره ای نیستند، بنابراین ناحیه غیر قابل تشخیص شرایطی از بار و تولید است که به ازای آن روش قادر به تشخیص کارکرد جزیره ای نمی باشد [۶]، [۷]. از جمله روش های غیر فعال تشخیص جزیره ای می توان به روش های: حفاظت ولتاژی، حفاظت فرکانسی، نرخ تغییرات توان اکتیو، نرخ تغییرات فرکانس، تشخیص بر اساس نامتعادلی ولتاژ و اعوجاج هارمونیک و همچنین استفاده از تبدیل موجک برای تشخیص جزیره ای را کل را نام برد [۷-۱۲]. روش های اکتیو با اعمال اغتشاش عمدی به سیستم سعی در ناپایدار ساختن آن در حالت جزیره ای دارند. مهمترین مزیت روش های اکتیو داشتن NDZ کوچکتر در مقایسه با روش های پسیو می باشد [۷]. از عیوب روش های اکتیو کاهش کیفیت توان در خروجی واحد تولید پراکنده به دلیل تزریق اغتشاش عمدی می باشد. روش های مانند جابجایی فرکانس [۱۳]، رانش فرکانس فعال [۱۴] و

تغییر فرکانس ساندا [۱۵] در زمره روش های فعال دسته بندی می شوند. روش های مخابراتی زیر ساخت ارتباطی بین تجهیزات حفاظتی برای تشخیص کارکرد جزیره ای استفاده می کنند. برتری این روش داشتن NDZ صفر و از عیوب آن نیاز به زیر ساخت مخابراتی و هزینه بالای این تجهیزات می باشد [۵]. در این مقاله روش ترکیبی جدیدی، با استفاده از دو نوع روش اکتیو و پسیو، برای تولیدات پراکنده مبتنی بر اینورتر، ارائه شده است. روش ترکیبی جدید، از مزیت هر دو روش پسیو و اکتیو به طور همزمان استفاده می کند و در عین حال عیوب آنها را نیز، بهبود می بخشد. روش پسیو مورد استفاده در این مقاله بر اساس تبدیل موجک است و همچنین روش جابجایی فرکانس ساندا (SFS)، به عنوان روشی اکتیو با روش پسیو ذکر شده ترکیب شده است. روش ارائه شده به این صورت عمل می کند که ابتدا آنتروپی ضرائب موجک برای فرکانس و ولتاژ موثر در نقطه PCC محاسبه می شود. آنتروپی ضرائب تبدیل موجک دینامیک و پیچیدگی سیگنال را بدست می دهد. حال اگر مقدار آنتروپی محاسبه شده برای ولتاژ و فرکانس از حد آستانه معینی بزرگتر بود، پارامترهای روش اکتیو (SFS و  $K$ ) که قبلا صفر بود به مقدار از قبل محاسبه شده ای، در طول بازه زمانی معینی تغییر می کند. مقادیر این پارامترها (SFS و  $K$ ) به منظور تضمین تشخیص کارکرد جزیره ای در شرایط تعریف شده در استاندارد [۱]، [۲] و داشتن کمترین NDZ محاسبه شده است. برتری روش ترکیبی ارائه شده در این است که NDZ این روش برابر NDZ روش SFS می باشد و همچنین از دید کیفیت توان، روش ترکیبی نسبت به روش SFS اغتشاش کمتری را وارد سیستم می کند زیرا در حالت کارکرد نرمال سیستم اغتشاش وارد شده به سیستم صفر است و تنها در حالت های گذرا مانند وجود اغتشاشات ولتاژ و یا در لحظه شکل گیری جزیره توان اغتشاش عمدی به سیستم اعمال می شود. به طور خلاصه با کمک آنتروپی ضرائب تبدیل موجک، اغتشاشات عمدی در زمان های که احتمال وقوع کارکرد جزیره ای بیشتر است به سیستم اعمال می شود. بنابراین می توان ادعا کرد که روش ترکیبی ارائه شده با کمک دو نوع از روش های موجود (فعال و غیر فعال) ضمن استفاده از مزیت آنها از عیوب آنها نیز کاسته است. روش ارائه شده بر روی یک سیستم نمونه پیاده سازی شده است. شبیه سازی ها در شرایط مختلف و با بارهای مختلف انجام شده است. اثر پدیده های کیفیت توان مانند اغتشاشات ولتاژ نیز بر روی روش ارائه شده بررسی شده است. کلیه شبیه سازی ها در نرم افزار Matlab/Simulink انجام شده است. در ادامه و در بخش



مدار کنترلی دیده شده در شکل (۱) بر اساس قاب مرجع سنکرون dq می باشد. در این مدار کنترلی جریان خروجی اینورتر به قاب مرجع سنکرون d-q منتقل شده و سپس با مقادیر مرجع خود مقایسه می شود و خروجی این مقایسه وارد یک کنترلر انتگرالی تناسبی PI می گردد. خروجی این بلوک های کنترلی، سیگنال ولتاژ مرجع را برای بلوک مدولاسیون عرض پالس سینوسی (SPWM) فراهم می کند. استراتژی کنترلی مورد استفاده در این مدار کنترلی از نوع جریان ثابت می باشد [۱۶-۱۹]. روابط این مدار کنترلی در مراجع [۱۹] و [۲۱] موجود است. سایر پارامترها در جداول (۱) و (۲) آمده است.

جدول (۲): پارامتر های بار RLC موازی ۱۰۰ کیلووات با ضریب کیفیت های مختلف

$Q_f$	$R(\Omega)$	$L(\mu H)$	$C(\mu F)$	$F_{res}(Hz)$
0.5	2.304	12221.9	575.6	60.006
0.96	2.304	6365.6	1105.1	60.006
1.57	2.304	3892.3	1807.4	60.006
2.05	2.304	2982.4	2358.8	60.006
2.56	2.304	2387.1	2947.0	60.006
2.9	2.304	2107.2	3338.4	60.006
3.5	2.304	1746.5	4028.0	60.006
4.06	2.304	1505.2	4673.8	60.006
4.56	2.304	1340.1	5249.4	60.006

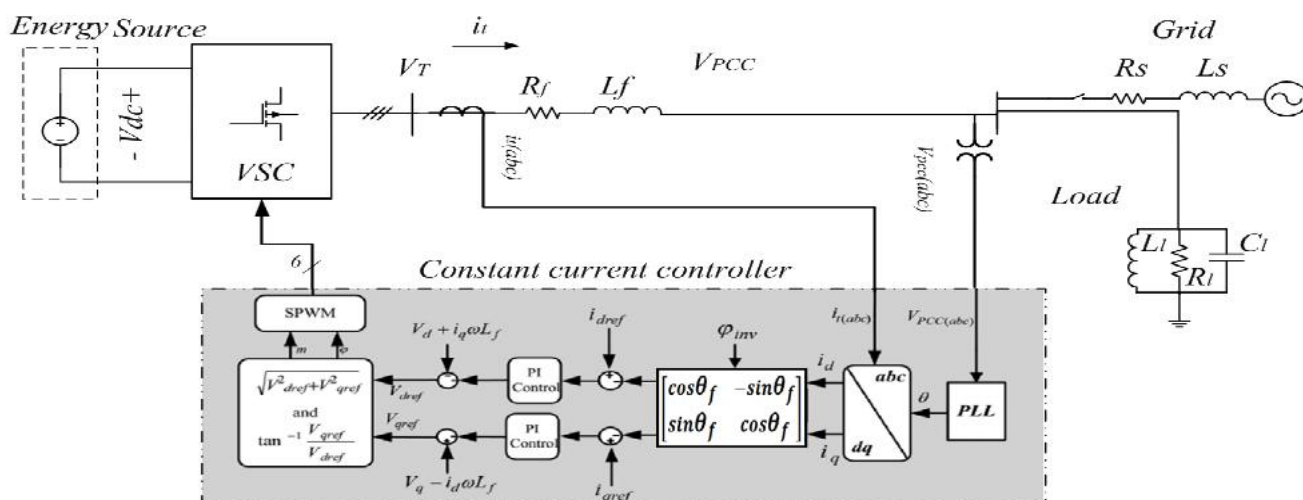
دوم سیستم شبیه سازی شده آورده شده است. روش پسیو مبتنی بر تبدیل موجک، روش اکتیو جابجایی فرکانس ساندیا و روش ترکیبی جدید به ترتیب در بخش های سوم، چهارم و پنجم ارائه شده اند. در بخش ها ششم و هفتم نیز نتایج شبیه سازی و نتیجه گیری از این مقاله بیان می شود.

## ۲- سیستم شبیه سازی شده

شکل (۱) سیستم مورد مطالعه در این مقاله را نشان می دهد، که شامل شبکه توزیع و بار و یک واحد تولید پراکنده اینورتری می باشد. سیستم مورد مطالعه شامل یک منبع تولید پراکنده ۱۰۰ kW، شبکه توزیع و بار می باشد. شبکه توزیع به صورت یک منبع و امپدانس سری و بار به صورت R-L-C موازی مدل شده است. مدار کنترلی از مراجع [۱۶]، [۱۷] گرفته شده است. سایر پارامترها از مراجع [۱۸]، [۱۹]، [۲۰] گرفته شده است.

جدول (۱): پارامتر های سیستم و اینورتر

پارامتر های شبکه و اینورتر	
100 kW	توان نامی اینورتر
8 kHz	فرکانس کلید زنی
900 V	ولتاژ باس DC
480 V	ولتاژ باس AC (خط به خط)
60 Hz	فرکانس
0.012 (ohm)	مقاومت شبکه Rs
0.3056 mH	اندوکتانس شبکه Ls
2.1 mH	اندوکتانس فیلتر Lf
پارامتر های کنترل کننده	
Kp=0.2, Ki=100	Id control
Kp=0.2, Ki=100	Iq control



شکل (۱): سیستم مورد مطالعه [۲۱]

### ۳- تبدیل موجک

تبدیل موجک ابزاری قدرتمند در تحلیل سیگنال‌های غیر ایستا می‌باشد. این تبدیل تحلیلی در حوزه زمان فرکانس از سیگنال ورودی ارائه می‌دهد. همین امر تبدیل موجک را به ابزاری مناسب برای تحلیل گذرها در سیستم قدرت، تحلیل کیفیت توان و تشخیص کارکرد جزیره‌ای مناسب می‌سازد [۲۲-۲۴].

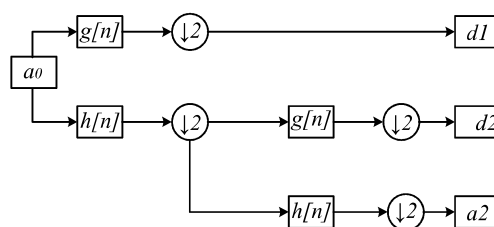
#### ۳-۱- تبدیل موجک کلاسیک (الگوریتم ملات)

دو روش مختلف برای پیاده سازی تبدیل موجک گسسته ارائه شده است. در نوع اول از الگوریتمی به نام ملات برای پیاده سازی آن استفاده می‌شود. در این روش از دو فیلتر بالاگذر و پایین گذر برای پیاده سازی تبدیل موجک گسسته استفاده شده است. ضرائب تبدیل موجک با روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$d_{j+1}[n] = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} a_j[n] g[2n - m] \quad (1)$$

$$a_{j+1}[n] = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} a_j[n] h[2n - m] \quad (2)$$

ضرائب در هر سطح تجزیه به عنوان ورودی برای سطح بعدی در ساختاری سلسله مراتبی قرار می‌گیرند. این ساختار در شکل (۲) رسم شده است.



شکل (۲): ساختار تجزیه تبدیل موجک از طریق فیلترهای بالا گذر و پایین گذر

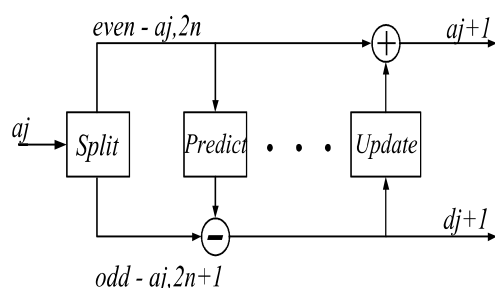
#### ۳-۲- نسل دوم تبدیل موجک (طرح لیفتینگ)

روش دوم مورد استفاده برای پیاده سازی تبدیل موجک به طرح لیفتینگ معروف است. در نسل جدید تبدیل موجک (طرح لیفتینگ) محاسبات پیچش به ضرب ماتریسی تبدیل شده است و به این صورت پیچیدگی محاسبات کاهش یافته و سرعت آن افزایش می‌یابد.

#### ۳-۳- مزیت نسل دوم تبدیل موجک

پیاده سازی تبدیل موجک با گام‌های لیفتینگ علاوه بر کاهش پیچیدگی محاسبات به نصف، نیازی به حافظه جانبی نیز نخواهد

داشت. این امر استفاده از نسل دوم تبدیل موجک را برای کاربرد های میکروپروسسوری مناسب می‌سازد [۲۵]. تشخیص کارکرد جزیره‌ای در کمترین زمان یکی از اهداف پژوهشگران در این زمینه بوده است. به همین دلیل در این مقاله از طرح لیفتینگ برای محاسبه ضرائب موجک در تشخیص کارکرد جزیره‌ای استفاده شده است. طرح لیفتینگ محاسبات پیچش در فیلترهای بالا گذر و پایین گذر در الگوریتم ملات را به ضرب ماتریسی در قالب گام‌های لیفتینگ تبدیل می‌کند. طرح لیفتینگ در ساختار نردبانی نشان داده شده در شکل (۳) پیاده سازی می‌شود.



شکل (۳): ساختار تجزیه سیگنال از طریق گام‌های لیفتینگ

طرح لیفتینگ به سه گام عمده تقسیم می‌شود. در گام اول که شکافتن نام دارد ضرائب سیگنال ورودی به ضرائب زوج و فرد تفکیک می‌شوند. در ادامه این ضرائب زوج و فرد وارد گام‌های سری فیلترینگ به نام‌های پیشگویی و به روز رسانی می‌شوند. با انجام محاسبات در سه گام ذکر شده ضرائب تبدیل موجک بدست می‌آیند.

#### ۳-۴- انتخاب موج مادر و پیاده سازی آن با گام‌های لیفتینگ

در این مقاله از موجک مادر db-4 استفاده شده است. این موجک برای تشخیص مولفه‌های گذرا سیگنال با دامنه کم در سیستم قدرت مناسب است. بر اساس مرجع [۲۲] محاسبه نسل دوم تبدیل موجک برای موجک مادر db-4 با روابط زیر انجام می‌شود. لازم به ذکر است که روابط (۳) و (۵) گام‌های پیشگویی و رابطه (۴) گام به روز رسانی می‌باشد.

$$a_{j+1,n}^{(1)} = a_{j,2n+1} - \sqrt{3}a_{j,2n} \quad (3)$$

$$a_{j+1,n} = a_{j,2n} + \frac{\sqrt{3}}{4}d_{j+1,n}^{(1)} + \frac{\sqrt{3}-2}{4}d_{j+1,n+1}^{(1)} \quad (4)$$

$$d_{j+1,n} = d_{j+1,n}^{(1)} - a_{j+1,n+1} \quad (5)$$

### ۳-۵- آنتروپی شانون

روش ارائه شده بر اساس آنتروپی شانون است. با فرض  $n$  رویداد گسسته  $A_i$  که  $i=1,2,\dots,n$  باشد و این که احتمال هر رویداد برابر با  $p_i$  باشد، آنتروپی شانون با رابطه زیر محاسبه می شود [۲۹].

$$C(P_1, P_2, \dots, P_n) = - \sum_{j=1}^n P_j \log_a P_j \quad (۶)$$

آنتروپی شانون دارای ویژگی های زیر است:

(۱) اگر  $C(P_1, P_2, \dots, P_n) = 0$  باشد آنگاه یکی از مقادیر

$P_1, P_2, \dots, P_n$  برابر یک و ما بقی صفر می باشند.

(۲) مقدار  $C(P_1, P_2, \dots, P_n)$  برای هر ترکیب دیگری از

$P_i$  ها ( $i=1,2,\dots,n$ ) به جز حالت گفته شده در بند

قبل مثبت می باشد.

(۳) مقدار  $C(P_1, P_2, \dots, P_n)$  زمانی بیشینه است که

$P_1 = P_2 = \dots = P_n = 1/n$  باشد.

(۴) واحد آنتروپی شانون به پایه لگاریتم بستگی دارد اگر  $a$

برابر ۲،  $e$ ، یا ۱۰ باشد واحد این پارامتر به ترتیب برابر

nat، bit و hartely خواهد بود. در این مقاله  $a=e$  در

نظر گرفته شده است.

از آنتروپی شانون برای محاسبه آنتروپی انرژی ضرائب

موجک استفاده خواهد شد.

### ۳-۶- آنتروپی انرژی ضرائب تبدیل موجک

آنتروپی ضرائب موجک معیاری از نظم، اختلال، پیچیدگی و

دینامیک سیگنال و یا سیستم می باشد [۲۶]، [۲۷]. در این مقاله

از آنتروپی انرژی نرمال<sup>۲</sup> استفاده می شود. اگر یک سیگنال تا  $m$

سطح توسط تبدیل موجک تجزیه شود.

$$D_j(k) = \begin{cases} dj(k), & j \leq m \\ aj(k), & j = m + 1 \end{cases} \quad (۷)$$

آنگاه انرژی ضرائب موجک در سطح تجزیه  $j$ -ام و زمان  $k$ -ام، با

رابطه زیر محاسبه می شود.

$$E_{j,k} = |D_j(k)|^2, j = 1, 2, \dots, m + 1 \quad (۸)$$

همانطور که در بالا اشاره شد،  $D_j$  ضرائب تبدیل موجک در

سطح تجزیه  $j$ -ام می باشد. معمولاً محاسبات در پنجره زمانی به

طول  $L$  انجام می شود. در این مقاله  $L=1$  در نظر گرفته شده

است.

$$E_j = \sum_{k=1}^L E_{j,k} \quad (۹)$$

انرژی کل سیگنال تجزیه شده با تبدیل موجک از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$E_{tot} = \sum_{j=1}^m E_j \quad (۱۰)$$

مقدار انرژی نسبی در سطح تجزیه  $j$ -ام با تقسیم انرژی آن به

انرژی کل محاسبه می شود. برای مقدار انرژی نسبی در سطح

تجزیه  $j$ -ام ( $P_j$ ) روابط (۱۲) و (۱۳) برقرار است.

آنتروپی انرژی ضرائب موجک با رابطه (۱۴) محاسبه می شود

[۲۸].

$$P_j = \frac{E_j}{E_{tot}} \quad (۱۱)$$

$$\sum_{j=1}^m P_j = 1 \quad (۱۲)$$

$$0 < P_j < 1, \text{ for every } P_j \quad (۱۳)$$

$$WEE = - \sum_{j=1}^m P_j \log P_j \quad (۱۴)$$

در این مقاله آنتروپی انرژی تبدیل موجک<sup>۱</sup> برای ولتاژ و فرکانس

در باس وصل مشترک اینورتر به شبکه محاسبه می شود. آنتروپی

انرژی ولتاژ<sup>۱</sup> و فرکانس<sup>۱</sup> با روابط (۱۵) و (۱۶) و همچنین

آنتروپی انرژی کل<sup>۱۱</sup> با رابطه (۱۷) بدست می آید می شود.

$$WEEV = WEE(V_{RMSa}) + WEE(V_{RMSb}) + WEE(V_{RMSc}) \quad (۱۵)$$

$$WEEF = WEE(f_{PCC}) \quad (۱۶)$$

$$WEET = WEEF + WEEV \quad (۱۷)$$

### ۳-۷- انتخاب سطح تجزیه مناسب

در این بخش دو سیگنال ولتاژ (ولتاژ rms فاز  $a$  در باس PCC)

و فرکانس در باس PCC، با موجک مادر db-4 از ۱ تا ۵ سطح

تجزیه شده است. لازم به توضیح است که دو سیگنال تجزیه شده

در این بخش مربوط به حالت کارکرد جزیره اینورتر با بار ۱۰۰

کیلووات و ضریب کیفیت ۴.۵۶ می باشند. آنتروپی آنها در هر

سطح تجزیه، محاسبه شده و نتایج در جدول (۳) آورده شده

است. در این شکل محور افقی سطح تجزیه است و محور عمودی انتروپی سیگنال تجزیه شده می باشد. به عنوان مثال دیده می شود که انتروپی در سطح اول تجزیه به ترتیب برای سیگنال فرکانس و ولتاژ برابر با ۲.۷ و ۲.۰۱ می باشد. این مقادیر با افزایش سطح تجزیه کاهش می یابند. به عنوان مثال این مقادیر در سطح دوم تجزیه به ترتیب برابر ۰.۷۳ و ۰.۴۳ می باشد. با توجه به این نتایج در این مقاله از سطح اول تجزیه موجک که دارای بزرگترین مقدار انتروپی است، استفاده می شود.

جدول (۳): مقدار انتروپی ولتاژ RMS و مقدار انتروپی فرکانس در باس PCC در حالت کارکرد جزیره ای با موجک db-4 در ۵ سطح تجزیه مختلف

level	WEEV	WEEF
1.000	2.01171	2.70016
2.000	0.43324	0.07250
3.000	0.11193	0.00102
4.000	0.04028	0.00001
5.000	0.00694	0.00000

در مدار کنترلی استفاده شده در سیستم شبیه سازی، ولتاژ و فرکانس در باس PCC از طریق شبکه دیکته می شود، بنابراین با قطع شبکه بالا دست تغییراتی در این دو پارامتر حادث می شود. در این مقاله برای محاسبه دینامیک سیگنال های ولتاژ و فرکانس از انتروپی انرژی موجک استفاده شده است. لازم به ذکر است که در صورت برابر بودن بار و تولید در جزیره توان پس از رخداد جزیره تغییرات ایجاد شده در ولتاژ و فرکانس به قدری کوچک است که از طریق رله های ولتاژی و فرکانسی قابل رویت نیست. در واقع این حالت ها NDZ این نوع رله ها هستند. ولی با استفاده از انتروپی انرژی می توان دینامیک سیستم را در بدترین حالت ها (برابری تولید و بار در جزیره توان) اندازه گیری نمود و بر اساس آن رخداد جزیره ای را تشخیص داد.

### ۳-۸- مزیت تبدیل موجک برای تشخیص کارکرد جزیره ای

روش تشخیص کارکرد جزیره ای مبتنی بر تبدیل موجک یکی از قوی ترین روش های پسیو ارائه شده است. تبدیل موجک نسبت به روش های پسیو دیگر قابلیت تشخیص جزیره ای را در بدترین شرایط (وجود تعادل بین بار و تولید و همچنین ضریب کیفیت های بزرگ در جزیره توان) دارد [۷-۱۲]. به همین دلیل در این مقاله تبدیل موجک به عنوان روش پسیو برای استفاده در روش ترکیبی نوین ارائه شده به کار رفته است.

### ۳-۹- عیب روش های مبتنی بر تبدیل موجک

از عیوب تبدیل موجک این است که در لحظات وقوع کلید زنی بار یا وجود مشکلات کیفیت توان مانند اضافه ولتاژ، کمبود ولتاژ و وجود هارمونیک در ولتاژ، احتمال تشخیص اشتباه کارکرد جزیره ای وجود دارد. برای رفع این عیب در این مقاله از روش جابجایی فرکانس ساندا (SFS) به صورت ترکیبی با روش تبدیل موجک استفاده شده است. روش به این صورت عمل می کند که اگر مقدار انتروپی انرژی تبدیل موجک یا WEE از حد آستانه کوچکتر بود سیستم به صورت عادی کار میکند ولی اگر این مقدار از حد آستانه بزرگتر شد، آنگاه به مدت ۰.۳ ثانیه روش SFS وارد مدار می شود اگر در این مدت زمان ولتاژ و فرکانس از حدود نامی خارج شوند رله ها عمل کرده و کارکرد جزیره ای تشخیص داده می شود و در غیر این صورت اغتشاش وارد شده توسط روش SFS صفر می شود و سیستم به کارکرد خود ادامه می دهد. با این روش هم ناحیه غیر قابل و تشخیص اشتباه در روش تشخیص با انتروپی انرژی موجک کاهش می یابد و از سوی دیگر اغتشاش وارد شده توسط روش اکتیو نیز کمتر می شود، زیرا اغتشاش وارد شده توسط روش اکتیو SFS توسط اندازه گیری WEE راه اندازی می شود. بنا براین در زمانی که سیستم در حالت کار پایدار خود است اغتشاش وارد شده توسط روش اکتیو SFS صفر می باشد. توضیحات بیشتر در مورد روش اکتیو SFS و نحوه تنظیم پارامتر های آن در بخش چهارم بیان می شود.

### ۴- روش تشخیص جزیره ای اکتیو جابجایی فرکانس ساندا<sup>۱۱</sup>

در این روش زاویه فاز اینورتر ( $\varphi_{inv}$ ) به صورت تابعی از فرکانس جزیره توان  $f_{is}$  تعریف می شود. در این رابطه  $f_g$  فرکانس نامی قبل از جزیره ای و  $cf_0$  و  $k$  به ترتیب مقدار اولیه اغتشاش<sup>۱۲</sup> و بهره فیدبک مثبت<sup>۱۴</sup> روش شیفت فرکانس ساندا میباشند [۲۹].

$$\varphi_{inv} = \frac{\pi}{2} (cf_0 + k(f_{is} - f_g)) \quad (18)$$

### ۴-۱- روش SFS اصلاح شده

در روش SFS اصلاح شده [۲۹]، برای بهبود کیفیت توان خروجی مقدار پارامتر  $cf_0$  برابر با صفر در نظر گرفته می شود. بنابراین رابطه فاز روش SFS اصلاح شده با رابطه زیر بدست می آید.

$$\varphi_{inv} = \frac{\pi}{2} (k(f_{is} - f_g)) \quad (19)$$

#### ۲-۴- مزیت روش جابه جایی فرکانس ساندا یا

این روش یکی از موثرترین روش‌های تشخیص کارکرد جزیره ای اکتیو است که دارای کمترین ناحیه غیر قابل تشخیص در مقایسه با روش‌های اکتیو دیگر می‌باشد. به همین دلیل در روش ترکیبی ارائه شده از این روش اکتیو استفاده خواهد شد [۳۰].

#### ۳-۴- تنظیم پارامتر k

در مرجع [۳۰] برای تضمین تشخیص روش برای بار با ضریب کیفیت کوچکتر از ۷ مقدار k برابر با ۰.۱۵ محاسبه شده است. بر اساس استاندارد ul 1741 روش تشخیص جزیره ای برای بار با ضریب کیفیت  $Q_f < 1.8$  برای بار RLC موازی باید کارکرد جزیره ای را در کمتر از ۲ ثانیه تشخیص دهد [۲]. در این مقاله برای تنظیم k با حاشیه اطمینان بالاتر و قابلیت تشخیص کارکرد جزیره ای در بار با ضریب کیفیت‌های بزرگتر مقدار k از مرجع [۳۰] برابر با ۰.۱۵ در نظر گرفته شده است. در ادامه و در بخش پنجم روشی ترکیبی برای تشخیص کارکرد جزیره ای ارائه می‌شود.

#### ۴-۴- ناحیه غیر قابل تشخیص روش SFS

ناحیه غیر قابل تشخیص یا NDZ روش SFS در [۲۹] و [۳۰] برای مقاریر مختلف k رسم شده است. لازم به ذکر است که این روش یکی از کوچکترین NDZ ها را در مقایسه با روش‌های اکتیو دیگر داراست به همین دلیل در این مقاله مورد استفاده قرار گرفت.

#### ۵- ارائه روش ترکیبی جدید براساس تبدیل

#### موجک و روش SFS

الگوریتم مربوط به دیاگرام روش ترکیبی نوین پیشنهادی جهت تشخیص کارکرد جزیره ای در شکل (۴) رسم شده است. در روش SFS مقدار پارامتر k ثابت است و تغییر نمی‌کند. اگر مقدار  $k=0$  باشد، هیچ اغتشاشی وارد سیستم نخواهد شد. روش ترکیبی به این صورت عمل می‌کند در ابتدا مقدار  $k=0$  است و همواره آنتروپی انرژی ضرائب موجک برای ولتاژ و فرکانس در

باس PCC محاسبه می‌شود و در صورت افزایش آنتروپی انرژی کل یا WEET از مقدار آستانه، مقدار پارامتر k از صفر به مقدار ۰.۱۵ برای مدت زمان ۰.۲۵ ثانیه تغییر می‌کند. اگر افزایش در مقدار WEET به دلیل رخداد جزیره ای باشد، اغتشاش وارد شده فرکانس را از حدود تعیین شده در استاندارد خارج می‌کند و از طریق رله‌های فرکانسی قابل تشخیص خواهد بود [۲] و [۲۹]. و در غیر این صورت مقدار k پیش از گذشت زمان مشخص دوباره به مقدار صفر تغییر می‌کند. حدود تعیین شده در استاندارد برای عملکرد رله‌های مذکور برابر با 59.3 Hz و 60.5 Hz و 88% و 110% ولتاژ نامی می‌باشد. به طور کلی روش ترکیبی ارائه شده دارای دو ناحیه عملکردی پس‌یو و اکتیو می‌باشد. که در ناحیه عملکردی پس‌یو مقدار پارامتر k برابر با صفر است و روش ترکیبی فقط آنتروپی انرژی ضرائب موجک را اندازه‌گیری می‌کند و در صورت افزایش آن از حد آستانه روش وارد ناحیه اکتیو عملکرد خود می‌شود. در ناحیه عملکردی اکتیو مقدار k مخالف صفر است و روش مشابه روش اکتیو SFS عمل می‌کند. روش ترکیبی ارائه شده در این مقاله نسبت به روش اکتیو SFS اغتشاش کمتری را به سیستم وارد می‌کند و نسبت به روش‌های پس‌یو ناحیه غیر قابل تشخیص کوچکتری دارد ( NDZ این روش با NDZ روش اکتیو SFS برابر است.) و احتمال تشخیص اشتباه جزیره‌ای به دلیل وجود گذراهای ولتاژ و فرکانس را نیز کاهش می‌دهد.

#### ۵-۱- ناحیه غیر قابل تشخیص روش پیشنهادی

ناحیه غیر قابل تشخیص این روش با NDZ روش SFS برابر است. روش SFS دارای کوچکترین ناحیه غیر قابل تشخیص در بین روش‌های اکتیو می‌باشد. NDZ روش SFS برای مقادیر مختلف پارامتر K در مراجع [۲۹] و [۳۰] رسم شده است. به طور خلاصه با افزایش مقدار K ناحیه غیر قابل تشخیص کاهش می‌یابد. در این مقاله مقدار  $K=0.15$  در نظر گرفته شده است. نحوه تنظیم پارامتر K در بخش چهارم شرح داده شده است.

#### ۶- نتایج شبیه سازی

در این بخش نتایج استخراجی برای سیستم مورد مطالعه در بخش دوم با روش ترکیبی پیشنهادی تشخیص جزیره ای ارائه شده در بخش پنجم شبیه سازی شده است و عملکرد آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شبیه سازی از تست‌های جزیره ای ارائه شده در استاندارد IEEE 1547 و تست‌های UL 1741 برای تشخیص کارکرد جزیره ای استفاده شده است [۱، ۲] و

همچنین اثر تغییرات ولتاژ و فرکانس در باس PCC بر روی روش ارائه شده بررسی می گردد.

(f) مربوط به کارکرد نرمال و زیر نویسی های ۲ در همین مفادیر مربوط به کارکرد جزیره است.

جدول (۴): مقادیر ولتاژ RMS (فاز a)، فرکانس در باس PCC و انتروی انرژی در دو حالت کارکرد نرمال (حالت ۱) و کارکرد جزیره ای (حالت ۲) به ازای بار kW100 با ضریب کیفیت های مختل

Qf	v2/v1	f2/f1	WEET1	WEET2	WEET2/WEET1
0.5	1.017	1.001	0.023	1.025	44.100
0.96	0.980	1.001	0.025	1.445	57.140
1.57	1.029	1.006	0.035	9.360	269.129
2.05	1.008	1.001	0.048	2.188	45.200
2.56	0.998	1.004	0.065	9.658	149.598
2.9	1.023	1.002	0.074	2.193	29.583
3.5	1.004	1.000	0.137	1.447	10.539
4.06	1.019	1.002	0.169	0.927	5.491
4.56	1.008	1.000	0.182	4.342	23.854

به عنوان مثال در همین جدول برای بار با ضریب کیفیت ۴.۵۶ مقدار  $v2/v1=1.008$  و  $f2/f1=1.000$  است. با توجه به این مقادیر به این نتیجه حاصل می شود که ولتاژ و فرکانس پس از رخداد جزیره ای تغییر چندانی نکرده اند. همچنین مقدار  $WEET2/WEET1=23.854$  است که مقدار انتروی انرژی در حالت جزیره (حالت ۲) ای تقریباً ۲۳ برابر حالت کارکرد عادی (حالت ۱) می باشد. بنابراین انتروی انرژی پارامتر مناسبی برای تشخیص کارکرد جزیره ای است.

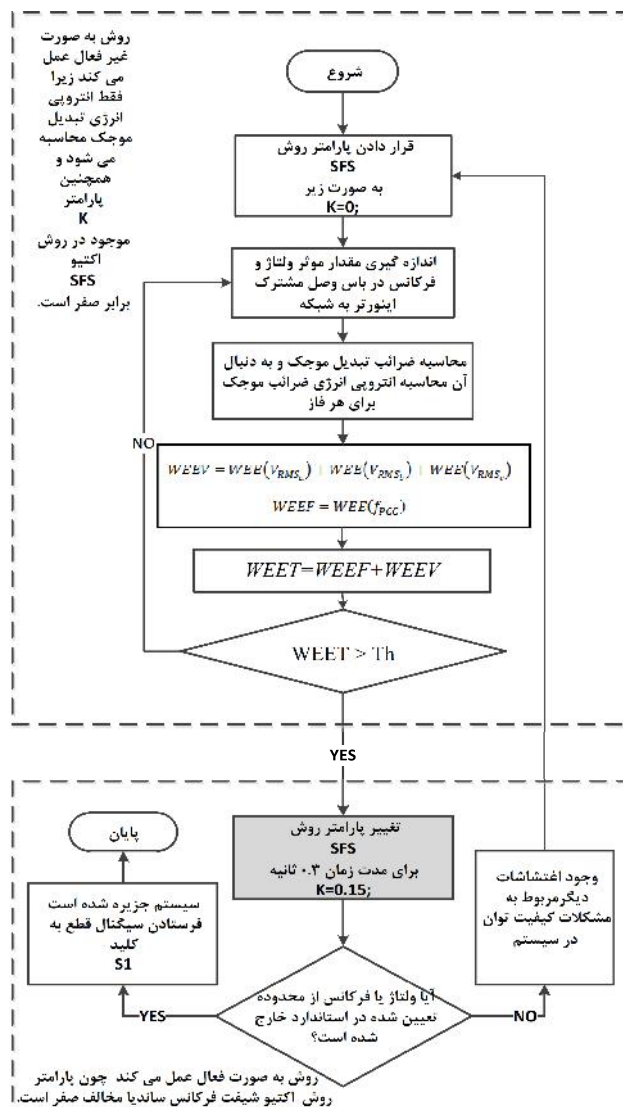
با توجه به مقادیر WEET در ستون های چهارم و پنجم در جدول (۴)، مقدار حد آستانه برای این ضریب برابر ۰.۷ در نظر گرفته شده است.

## ۶-۲- اثر مشکلات کیفیت توان بر روی انتروی انرژی

### تبدیل موجک

انتروی تبدیل موجک ابزار مناسبی برای تشخیص کارکرد جزیره ای در سیستم مورد مطالعه است، ولی از مشکلات این روش تشخیص اشتباه در حالت های وجود مشکلات کیفیت توان مانند اضافه ولتاژ کمبود ولتاژ و وجود تغییر فرکانس می باشد. جدول (۵) نتایج WEET را در حالت های مذکور نشان می دهد.

ضریب توان بار در حالت های شبیه سازی شده برابر با ۴.۵۶ بوده است. در جدول (۵) ستون اول سناریو مورد مطالعه، ستون دوم ولتاژ و فرکانس و ستون سوم WEET (انتروی انرژی) را نشان می دهد. برای مثال با بررسی سطر مربوط به اضافه ولتاژ در جدول (۵) دیده می شود که ضریب WEET دارای مقدار



شکل (۴): الگوریتم روش ترکیبی تشخیص کارکرد جزیره ای

## ۶-۱- اثر کارکرد جزیره ای بر روی انتروی انرژی کل

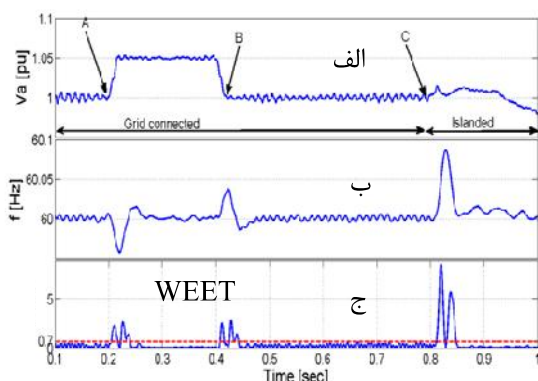
### تبدیل موجک یا WEET

در این بخش نتایج استخراجی برای مقدار انتروی انرژی کل یا WEET برای حالت های مختلف در کارکرد عادی و جزیره ای برای سیستم مورد مطالعه در جدول (۴) ارائه شده است. در جدول (۴) ستون اول مربوط به ضریب کیفیت بار است. ستون های دوم و سوم به ترتیب ولتاژ و فرکانس را نشان می دهد. ستون های چهارم تا ششم مقدار انتروی انرژی را نشان می دهد. در جدول (۴) زیر نویسی های ۱ در WEET، ولتاژ (v) و فرکانس

## ۴-۶- اثر تغییر ولتاژ (اضافه ولتاژ) بر روی انترویی

### انرژی تبدیل موجک

در شکل (۶) در بازه زمانی بین ۰.۲ تا ۰.۴ ثانیه اضافه ولتاژ به اندازه ۰.۰۵ پریونیت اتفاق افتاده است، دیده می شود که در این لحظات انترویی انرژی موجک از حد آستانه بزرگتر شده است. در همین شکل در زمان ۰.۸ ثانیه سیستم جزیره شده و به صورت ایزوله از شبکه به کار خود ادامه می دهد.



شکل (۶): الف) ولتاژ RMS فاز a در باس PCC (ب) فرکانس در باس PCC (ج) انترویی انرژی موجک که در بازه زمانی ۰.۲ تا ۰.۴ ولتاژ به اندازه ۰.۰۵ پریونیت تغییر کرده و در زمان ۰.۸ ثانیه سیستم جزیره شده است.

با توجه به نتایج در دو شکل (۵) و شکل (۶) می توان به این نتیجه رسید که اگر فقط با استفاده از روش پسیو مبتنی بر تبدیل موجک تشخیص جزیره ای را انجام گیرد، امکان تشخیص اشتباه در لحظات وقوع اضافه ولتاژ و یا افزایش فرکانس وجود دارد. برای رفع این مشکل در روش پسیو در این مقاله روش ترکیبی پیشنهاد شده است. روش ترکیبی ارائه شده دارای دو ناحیه عملکردی است، که یکی از آنها ناحیه عملکردی پسیو و دیگری ناحیه عملکردی اکتیو است. روش ترکیبی به این صورت عمل می کند که پیوسته با نمونه گیری از ولتاژ و فرکانس شبکه انترویی ضرائب موجک را محاسبه می کند اگر این معیار از حد آستانه از پیش تعیین شده (با توجه به جدول ۲ این مقدار برابر ۰.۷ انتخاب شد) بزرگتر گردد روش با تغییر پارامتر روش SFS از صفر ( $k=0$ ) به مقدار از پیش محاسبه شده ( $k=0.15$ ) برای مدت زمان  $t=0.25$  [sec] وارد ناحیه عملکردی اکتیو می شود. اگر در این مدت فرکانس از حدود آستانه تعیین شده در استاندارد خارج شد سیستم جزیره شده است و اگر فرکانس پایدار ماند اغتشاش به وجود آمده حالت جزیره ای نبوده و سیستم با تغییر پارامتر  $k$  به صفر دوباره به حالت عملکردی پسیو خود باز می گردد.

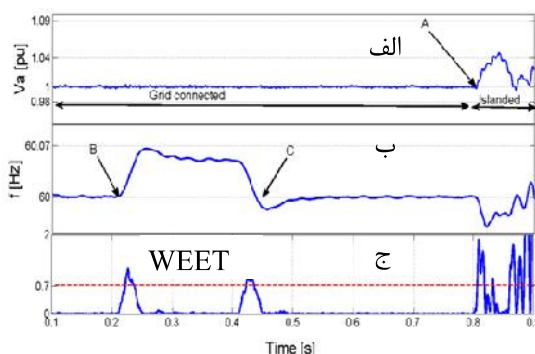
۱۰.۲۷ است که از حد آستانه تعیین شده در بخش قبل بزرگتر است (مقدار ۰.۷)، بنابراین در این موارد روش تشخیص اشتباه خواهد داشت. برای رفع این مشکل از روش ترکیبی استفاده شده است.

جدول (۵): تاثیر اغتشاشات ولتاژی و فرکانسی بر روی ضریب انترویی انرژی WEET، ولتاژ و فرکانس در باس PCC

سناریو	Voltage [pu]		WEET	
	before	After	before	after
Voltage Sag	1	1.052	0.439	1.032
Voltage Swell	1	0.95	0.439	1.027
frequency shift	Frequency [Hz]			
	before	After	before	after
frequency shift	60	60.2	0.018	2.22

## ۳-۶- اثر تغییر فرکانس بر روی انترویی تبدیل موجک

در این بخش اثر تغییرات فرکانس بر روی روش پیشنهادی بررسی میشود. نتایج در شکل ۵ آمده است. در شکل (۵) در بین بازه زمانی ۰.۲ تا ۰.۴ ثانیه فرکانس شبکه به اندازه ۰.۰۵ هرتز افزایش یافته است و سیستم در زمان ۰.۸ ثانیه سیستم جزیره شده است. در قسمت (ج) شکل ۵ تغییرات انترویی WEET دیده می شود. اگر حد آستانه برابر ۰.۷ انتخاب شود (حد آستانه با خط چین قرمز در شکل مشخص شده است) آنگاه در لحظات تغییر فرکانس (نقطه B و C) امکان تشخیص اشتباه وجود دارد زیرا مقدار انترویی تبدیل موجک از حد آستانه بزرگتر شده است.



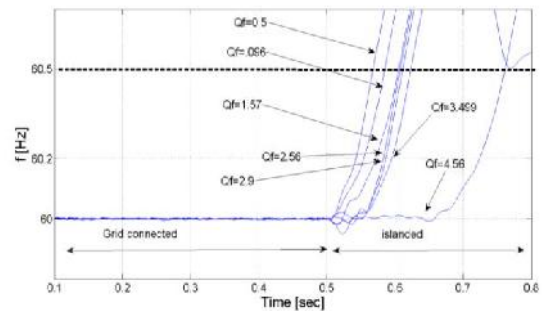
شکل (۵): الف) ولتاژ RMS فاز a در باس PCC (ب) فرکانس در باس PCC (ج) انترویی انرژی موجک که در بازه زمانی ۰.۲ تا ۰.۴ فرکانس به اندازه ۰.۰۵ هرتز تغییر کرده و در زمان ۰.۸ ثانیه سیستم جزیره شده است.

## ۷- نتایج شبیه سازی در روش ترکیبی جدید

در این بخش سیستم نشان داده شده در شکل (۱) با روش تشخیص کارکرد جزیره ای ترکیبی ارائه شده در شکل (۴) شبیه سازی شده و نتایج ارائه شده است. مشکلترین حالت برای روش تشخیص کارکرد جزیره ای بار با ضریب توان ۱ و ضریب کیفیت های بزرگ است که توان بار با توان نامی منع تولید پراکنده برابر و همچنین فرکانس رزونانس بار RLC موازی به فرکانس نامی شبکه نزدیک باشد. پارامتر های اینورتر و شبکه و پارامتر بارهای مختلف شبیه سازی شده، به ترتیب در جدول (۱) و جدول (۲) آمده است.

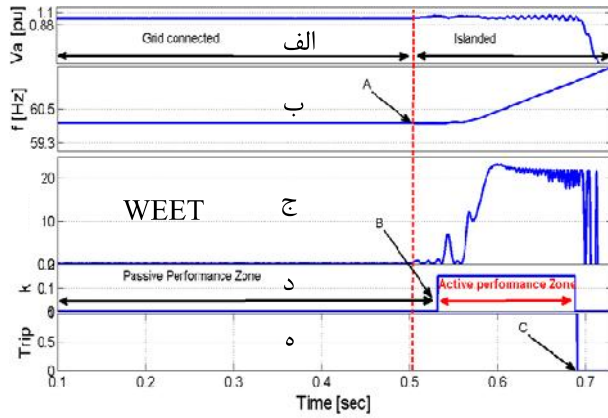
### ۷-۱- اثر ضریب کیفیت بار

در شکل (۷) نتایج شبیه سازی برای بار با ضریب کیفیت های مختلف آمده است. در این شکل دیده می شود که فرکانس در PCC پس از رخداد جزیره ای در لحظه  $t=0.5$  [sec] از حد بالای فرکانس تعیین شده در استاندارد (۶۰.۵ هرتز) خارج می شود. بنابراین روش ترکیبی ارائه شده برای بارها با ضریب کیفیت های مختلف عملکرد خوبی دارد و تقریباً در مدت زمان ۰.۲۵ ثانیه قادر به تشخیص کارکرد جزیره ای می باشد.



شکل (۷): فرکانس در باس PCC، تشخیص کارکرد جزیره ای با روش ترکیبی جدید در بار ۱۰۰ kW با ضریب کیفیت های مختلف، جزیره ای شدن در زمان  $t=0.5$  [sec] اتفاق افتاده است. حد بالای رله های فرکانسی ۶۰.۵ هرتز است که در این شکل مشخص شده است.

در شکل (۸) نحوه عملکرد روش ترکیبی ارائه شده رسم شده است. در زمان  $t=0.5$  [sec] (نقطه A) سیستم جزیره شده است و با افزایش مقدار WEET از حد آستانه روش تشخیص جزیره ای با تغییر مقدار k از صفر به مقدار ۰.۱۵ وارد ناحیه عملکرد اکتیو خود شده است. سیستم به درستی کارکرد جزیره را تشخیص داده و سیگنال قطع در زمان متناظر با نقطه D به کلید S1 ارسال شده است.



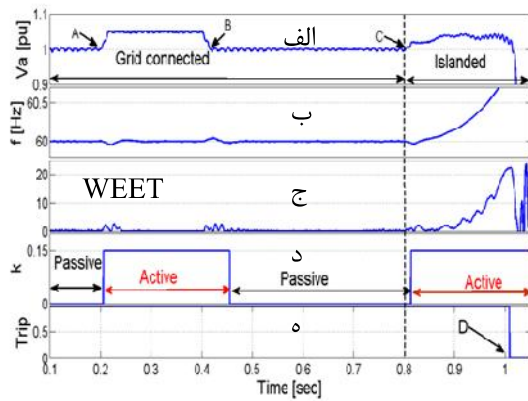
شکل (۸): (الف) ولتاژ RMS فاز a در باس PCC (ب) فرکانس در باس PCC (ج) انتروی انرژي موجک k پارامتر که مربوط به روش اکتیو SFS است. (ه) سیگنال قطع، زمان  $t=0.8$  [sec] سیستم جزیره شده است. بار در جزیره توان برابر ۱۰۰ کیلووات با ضریب کیفیت ۴.۵۶ می باشد.

### ۷-۲- اثر تغییرات ولتاژ و فرکانس باس PCC بر روی روش ترکیبی ارائه شده

با توجه به حساسیت تبدیل موجک به گذراهای ولتاژ و فرکانس در این بخش عملکرد روش ارائه شده با وجود تغییرات در ولتاژ و فرکانس بررسی می شود. در شبکه توزیع تغییرات ولتاژ در قالب کمبود و بیشبود ولتاژ رخ می دهند که ممکن است دامنه این تغییرات در بین حدود تعیین شده برای ولتاژ در استاندارد باشد (۸۸ درصد تا ۱۱۰ درصد ولتاژ نامی) [۳۱]. لذا ممکن است برای روش تشخیص جزیره ای مشکل ایجاد کند و باعث تشخیص اشتباه شود زیرا روش ارائه شده با اندازه گیری ولتاژ و فرکانس باس PCC و محاسبه تبدیل موجک آنها عمل می کند. بنابراین روش تشخیص جزیره ای باید بتواند این نوع تغییرات ولتاژ را از حالت جزیره ای تشخیص دهد تا از تشخیص اشتباه جلوگیری شود. در این بخش عملکرد روش ترکیبی ارائه شده در حالت های وجود این نوع تغییرات مطالعه شده است.

### ۷-۲-۱- اثر تغییرات فرکانس باس PCC بر روی روش ترکیبی تشخیص کارکرد جزیره ای

در شکل (۹) فرکانس به اندازه ۰.۵ هرتز در بین زمان های ۰.۲ تا ۰.۴ ثانیه افزایش یافته است و در لحظه  $t=0.8$  [sec] جزیره ای شدن رخ داده است. همان طور که در شکل (۹) قسمت (ج) دیده می شود، در حین رخداد تغییرات در فرکانس مقدار k از صفر به مقدار ۰.۱۵ افزایش یافته است. با این عمل سیستم از ناحیه عملکرد پسیو به ناحیه عملکرد اکتیو خود رفته است و



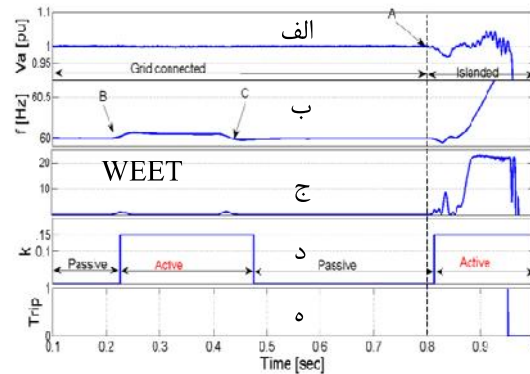
شکل (۱۰): الف) ولتاژ RMS فاز a در باس PCC (ب) فرکانس در باس PCC (ج) انرژی موزون (د) پارامتر  $k$  که مربوط به روش اکتیو SFS است. ه) سیگنال قطع، زمان  $t=0.8$  [sec] سیستم جزیره شده است. و در بازه زمانی بین ۰.۲ تا ۴.۰ ثانیه ولتاژ به اندازه ۰.۰۵ پرینویت تغییر کرده است. بار در جزیره توان برابر ۱۰۰ کیلووات با ضریب کیفیت ۴.۵۶ می باشد.

### ۸- نتیجه گیری

در این مقاله روشی ترکیبی بر اساس نسل دوم تبدیل موزون و روش جایابی فرکانس ساندا ارائه گردید. روش ارائه شده دارای دو ناحیه عملکردی غیر فعال و فعال می باشد. در ناحیه عملکردی غیر فعال این روش با محاسبه انرژی ولتاژ و فرکانس در باس PCC تغییرات و گذرا و دینامیک سیستم را اندازه گیری می کند و در صورت افزایش مقدار انرژی از حد آستانه روش به ناحیه عملکردی اکتیو می رود. اگر تغییرات گذرا در ولتاژ و فرکانس به دلیل جزیره ای شدن باشد فرکانس باس PCC از حدود تعیین شده در استاندارد خارج می شود و می توان با رله های فرکانسی کارکرد جزیره ای را تشخیص داد. از جمله برتری های روش ارائه شده می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ۱) روش ترکیبی ارائه شده با ترکیب دو روش اکتیو و پسیو با بهره گیری از نقاط قوت آنها عیوب آنها را نیز بهبود بخشیده است.
- ۲) از جمله عیوب روش های پسیو ناحیه غیر قابل تشخیص بزرگ است که با ترکیب روش اکتیو SFS این عیب از بین رفته است زیرا روش SFS کوچکترین ناحیه غیر قابل تشخیص را در بین روش های اکتیو داراست. ناحیه غیر قابل تشخیص روش ترکیبی ارائه شده برابر ناحیه غیر قابل تشخیص روش شیف

چون تغییراتی در فرکانس ایجاد نشده است دوباره مقدار  $k$  به صفر تغییر کرده است. در واقع با این عمل سیستم تغییرات فرکانسی را که به دلایلی به غیر از جزیره ای رخ می دهند را شناسایی می کند و از تشخیص اشتباه جلوگیری می شود. پس از رخداد جزیره ای در زمان ۰.۸ ثانیه سیستم با قرار دادن  $k=0.15$  دوباره وارد ناحیه عملکردی اکتیو خود می شود و با اعمال فیدبک مثبت روی فرکانس سیستم را ناپایدار کرده است که در نهایت سیگنال قطع به کلید  $S_1$  ارسال شده است.



شکل (۹): الف) ولتاژ RMS فاز a در باس PCC (ب) فرکانس در باس PCC (ج) انرژی موزون (د) پارامتر  $k$  که مربوط به روش اکتیو SFS است. ه) سیگنال قطع، زمان  $t=0.8$  [sec] سیستم جزیره شده است. و در بازه زمانی بین ۰.۲ تا ۴.۰ ثانیه فرکانس به اندازه ۰.۰۵ هرترز تغییر کرده است. بار در جزیره توان برابر ۱۰۰ کیلووات با ضریب کیفیت ۴.۵۶ می باشد.

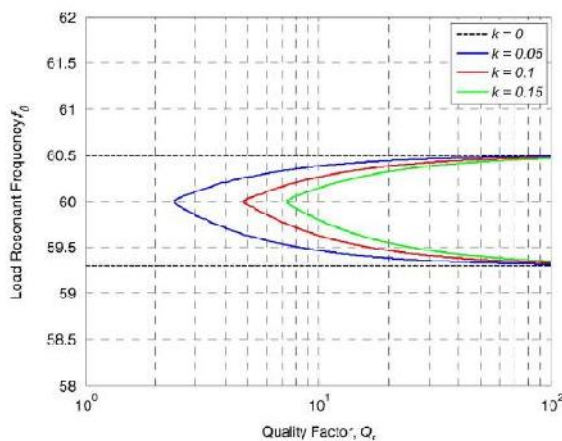
### ۷-۲-۲- اثر تغییرات ولتاژ بر روی روش ترکیبی تشخیص کارکرد جزیره ای

در شکل (۱۰) نیز دیده می شود که در بازه زمانی بین نقاط A و B اضافه ولتاژی به اندازه ۰.۰۵ پرینویت رخ داده که باعث شده روش تشخیص جزیره ای وارد ناحیه عملکردی اکتیو خود شده است و دوباره پس از پایان اضافه ولتاژ در زمان متناظر با نقطه B روش وارد ناحیه عملکردی پسیو خود می شود.

در شکل (۱۰) در زمان متناظر با نقطه C سیستم جزیره شده است و روش با وارد شدن به ناحیه عملکردی اکتیو خود به درستی کارکرد جزیره ای را تشخیص داده است و سیگنال قطع در زمان متناظر با نقطه D به کلید  $S_1$  ارسال شده است.

- [2] Underwriters Laboratories, Inc., "Static inverter and charge controllers for use in photovoltaic systems" Northbrook, IL, 2001, Standard UL.
- [3] R. H. Lasseter and P. Paigi, "Microgrid: A conceptual solution," in Proc. IEEE 35th Power Electron. Specialists Conf., Jun. 2004, vol. 6, pp. 4285–4290.
- [4] J. Liang, T. C. Green, G. Weiss, and Q. Zhong, "Hybrid control of multiple inverters in an island-mode distribution system," in Proc. IEEE 34th Annu. Power Electron. Specialist Conf., Jun. 2003, vol. 1, pp. 6166.
- [5] M. Ropp and W. Bower, "Evaluation of islanding detection methods for photovoltaic utility interactive power systems," Int. Energy Agency Implementing Agreement Photovoltaic Power Syst., Tech. Rep. IEAPVPS T5-09, Mar. 2002.
- [6] H. H. Zeineldin, "A Q-f droop curve for facilitating islanding detection of inverter-based distributed generation," IEEE Trans. Power Electron., vol. 24, no. 3, pp. 665–673, Mar. 2009.
- [7] H. H. Zeineldin and J. L. Kirtley, "A simple technique for islanding detection with negligible nondetection zone," IEEE Trans. Power Del., vol. 24, no. 2, pp. 779–786, Apr. 2009.
- [8] W. Freitas, W. Xu, C. M. Affonso, and Z. Huang, "Comparative analysis between ROCOF and vector surge relays for distributed generation applications," IEEE Trans. Power Del., vol. 20, no. 2, pt. 2, pp. 1315–1324, Apr. 2005.
- [9] J. C. M. Vieira, W. Freitas, W. Xu, and A. Morelato, "Efficient coordination of ROCOF and frequency relays for distributed generation protection by using the application region," IEEE Trans. Power Del., vol. 21, no. 4, pp. 1878–1884, Oct. 2006.
- [10] S. Jang and K. Kim, "An islanding detection method for distributed generations using voltage unbalance and total harmonic distortion in current," IEEE Trans. Power Del., vol. 19, no. 2, pp. 745–752, Apr. 2004.
- [11] Samui, A.; Samantaray, S.R.; , "Wavelet Singular Entropy-Based Islanding Detection in Distributed Generation," Power Delivery, IEEE Transactions on, vol. 28, no. 1, pp. 411–418, Jan. 2013
- [12] Pigazo, A.; Liserre, M.; Mastromauro, R.A.; Moreno, V.M.; Dell'Aquila, A.; , "Wavelet-Based Islanding Detection in Grid-Connected PV Systems," Industrial Electronics, IEEE Transactions on, vol. 56, no. 11, pp. 4445–4455, Nov. 2009
- [13] F. Liu, Y. Kang, S. Duan, and X. Lin, "Improved SMS islanding detection method for grid-connected converters," Inst. Eng. Technol. Renew. Power Gen., vol. 4, no. 1, p. 36042, 2010.
- [14] L. A. C. Lopes and H. Sun, "Performance assessment of active frequency drifting islanding detection methods," IEEE Trans. Energy Convers., vol. 21, no. 1, pp. 171–180, Mar. 2006.
- [15] M. E. Ropp, M. Begovic, A. Rohatgi, G. A. Kern, R. H. Bonn, and S. Gonzalez, "Determining the relative effectiveness of islanding detection methods using phase

فرکانس سانديا است. ناحیه غیر قابل تشخیص برای مقادیر مختلف  $k$  در شکل ۱۱ ترسیم شده است. محور عمودی در این شکل فرکانس رزونانس بار و محور افقی ضریب کیفیت بار می باشد. در این شکل میتوان دید که برای  $k=0.15$  روش دارای کوچکترین ناحیه غیر قابل تشخیص است.



شکل (۱۱): وابستگی ناحیه غیر قابل تشخیص به پارامتر  $k$  [۱۹].

(۳) عیب روش های اکتیو تزریق اغتشاش عمدی به سیستم است، که باعث ایجاد مشکلات کیفیت توان می شود. روش ترکیبی ارائه شده با داشتن دو ناحیه عملکرد اکتیو و پسیو اغتشاش عمدی تزریق شده را به حداقل می رساند. زیرا اغتشاش عمدی فقط در لحظات وجود گذرا و دینامیک در سیستم تزریق خواهد شد و در کارد حالت دائم هیچ اغتشاشی به سیستم تزریق نمی شود زیرا روش در ناحیه عملکردی پسیو خود می باشد و مقدار پارامتر  $k=0$  است همانطور که گفته شد  $k$  بهره فیدبک مثبت بر روی فرکانس در روش شیفت فرکانس سانديا است.

نتایج شبیه سازی مزیت و برتری روش ترکیبی را نسبت به روش های پیشین نشان می دهد.

## ۹- مراجع

- [1] IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources With Electric Power Systems, IEEE Standard 1547-2003, Jul. 2003.



Technology, 2006. PowerCon 2006. International Conference on, vol., no., pp.1-6, 22-26 Oct. 2006

[29] Zeineldin, H.H.; Kennedy, S.; "Sandia Frequency-Shift Parameter Selection to Eliminate Nondetection Zones," Power Delivery, IEEE Transactions on, vol.24, no.1, pp.486-487, Jan. 2009

[30] Vahedi, H.; Karrari, M.; "Adaptive Fuzzy Sandia Frequency-Shift Method for Islanding Protection of Inverter-Based Distributed Generation," Power Delivery, IEEE Transactions on, vol.28, no.1, pp.84-92, Jan. 2013

[31] D. Koval, W. Xu, and J. Salmon, "Power quality characteristics of rural electric secondary power systems," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 35, no. 2, pp. 332–338, Mar. 1999

criteria and nondetection zones," IEEE Trans. Energy Convers., vol. 15, no. 3, pp. 290–296, Sep. 2000.

[16] X. Wang, W. Freitas, W. Xu, and V. Dinavahi, "Impact of DG interfacecontrols on the sandia frequency shift antiislanding method," IEEE Trans. Energy Convers., vol. 22, no. 3, pp. 792–794, Sep. 2007.

[17] ب. صبحانی، ع. اکبری مجد، ح. شایقی، "کنترل کننده پیشفاز-پسفاژ مقاوم برای تولیدات پراکنده در شرایط جزیره ای" نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران - سال دوازدهم - شماره اول - بهار و تابستان ۱۳۹۴

[18] H. H. Zeineldin and S. Kennedy, "Sandia frequency-shiftparameterselection to eliminate nondetection zones," IEEE Trans. Power Del., vol. 24, no. 1, pp. 486–487, Jan. 2009.

[19] H. Vahedi, R. Noroozian, A. Jalilvand, and G. B. Gharehpetian, "A newmethod for islanding detection of inverter-based distributed generationusing DC-link voltage control," IEEE Trans. Power Del., vol. 26, no.2, pp. 1176–1186, Apr. 2011.

[20] ر. نوروزیان، ا. جلیلود، گ. قره پتیان و حسان واحد "حفاظت ضد جزیره ای و بهره برداری جزیره ای منابع تولید پراکنده با حداقل ناحیه ی غیر قابل تشخیص" نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران - سال هشتم شماره دوم پاییز و زمستان ۱۳۹۰.

[21] Vahedi, H.; Karrari, M.; "Adaptive Fuzzy Sandia Frequency-Shift Method for Islanding Protection of Inverter-Based Distributed Generation," Power Delivery, IEEE Transactions on, vol.28, no.1, pp.84-92, Jan. 2013

[22] Tse, N.C.F.; Chan, J.Y.C.; Wing-Hong Lau; Poon, J.T.Y.; Lai, L.L.; , "Real-Time Power-Quality Monitoring With Hybrid Sinusoidal and Lifting Wavelet Compression Algorithm," Power Delivery, IEEE Transactions on , vol.27, no.4, pp.1718-1726, Oct. 2012

[23] Santoso, S.; Powers, E.J.; Grady, W.M.; Hofmann, P. "Power quality assessment via wavelet transform analysis," Power Delivery, IEEE Transactions on, vol.11, no.2, pp.924-930, Apr 1996

[24] S. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation," IEEE Trans. On Pattern Anal. and Mach. Intell., vol 11, pp. 674-693, July 1989.

[25] T. Acharya, C. Chakrabarti, "A Survey on Lifting-based Discrete Wavelet Transform Architectures," Journal of VLSI signal processing systems for signal, image and video technology, Volume 42, Issue 3, pp 321-339, March 2006

[26] Hui Liu; Guohai Liu; YueShen; "Lifting wavelet scheme and wavelet energy entropy theory for transient power quality detection," Intelligent Control and Automation, 2008. WCICA 2008. 7th World Congress on, vol., no., pp.6011-6016, 25-27 June 2008

[27] Samui, A.; Samantaray, S.R.; "Wavelet Singular Entropy-Based Islanding Detection in Distributed Generation," Power Delivery, IEEE Transactions on, vol.28, no.1, pp.411-418, Jan. 2013

[28] He Zheng-you; Chen Xiaoqing; LuoGuoming; "Wavelet Entropy Measure Definition and Its Application for Transmission Line Fault Detection and Identification; (Part I: Definition and Methodology)," Power System

## زیر نویس ها

- <sup>1</sup> Unintentional Islanding
- <sup>2</sup> Passive
- <sup>3</sup> Active
- <sup>4</sup> Communication-based
- <sup>5</sup> Point of Common Coupling (PCC)
- <sup>6</sup> Non-Detection Zone (NDZ)
- <sup>7</sup> Wavelet energy entropy (WEE)
- <sup>8</sup> Wavelet energy entropy of voltage (WEEV)
- <sup>9</sup> Wavelet energy entropy of frequency (WEEF)
- <sup>10</sup> Wavelet energy entropy of total signal (WEET)
- <sup>11</sup> Normalized Shannon energy Entropy
- <sup>12</sup> Sandia Frequency Shift (SFS)
- <sup>13</sup> initial chopping fraction (cf0)
- <sup>14</sup> positive feedback gain of the scheme



