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

سید محسن حسین[1] رضا نوروزیان[2]

[1] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد-دانشکده مهندسی-گروه مهندسی برق- دانشگاه زنجان- زنجان- ایران
sm.hosseini@znu.ac.ir
[2] دانشیار- دانشکده مهندسی-گروه مهندسی برق - دانشگاه زنجان- زنجان- ایران
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 ارئه 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 می‌کند و در صورت افزایش آن از حد آستانه، این روش وارد ناحیه عملکردی اکتیو خود خواهد شد که با روش جابه جایی فرکانس ساندیا پیاده سازی شده است. در ناحیه عملکرد 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 گام‌های 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 درمحیط 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 ساندیا(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 نویسنده‌ی مسئول: سید محسن حسینی
نشانی نویسنده‌ی مسئول: دانشکده مهندسی برق- دانشگاه زنجان- زنجان- ایران

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.1.3.7]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol13 No.1 Spring 2016

۱- مقدمه

کارکرد جزیره ای غیر عمدی[۱] 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 کیفت 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: روش‌های غیر فعال[۲]، فعال[۳] و روش های مخابراتی[۴] تقسیم بندی می شوند[۵]. اساس عملکرد روش های غیر فعال اندازه گیری های مختلف در نقطه وصل مشترک[۵] واحد تولید پراکنده به شبکه می باشد. از عیوب روش های غیر فعال ناحیه غیر قابل[۶] 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 هارمونیکی و همچنین استفاده از تبدیل موجک برای تشخیص جزیره ای را کل را نام برد[۷-۱۲]. روش های اکتیو با اعمال اغتشاشی 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 می‌باشد [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 ساندیا [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 تجیزات می باشد[۵]. در این مقاله روش ترکیبی جدیدی، با استفاده از دو نوع روش اکتیو و پسیو، برای تولیدات پراکنده مبتنی بر اینورتر، ارئه 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 ساندیا (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. انتروپی ضرائب تبدیل موجک دینامیک و پیچیدگی سیگنال را بدست می‌دهد. حال اگر مقدار انتروپی محاسبه شده برای ولتاژ و فرکانس از حد آستانه معینی بزرگتر بود، پارامترهای روش اکتیوSFS (cf0و K) که قبلا صفر بود به مقدار از قبل محاسبه شده‌ای، در طول بازه زمانی معینی تغییر می‌کند. مقادیر این پارامترها (cf0و K) به منظور تضمین تشخیص کارکرد جزیرهای 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 کاکرد 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 انتروپی 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

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.1.3.7]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.13- No.1 Spring 2016

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 شده‌اند. 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 ۱۰۰kW ، 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]، [17] گرفته شده است. سایر پارامترها از مراجع [۱۸]، [۱۹]، [20] گرفته شده است.

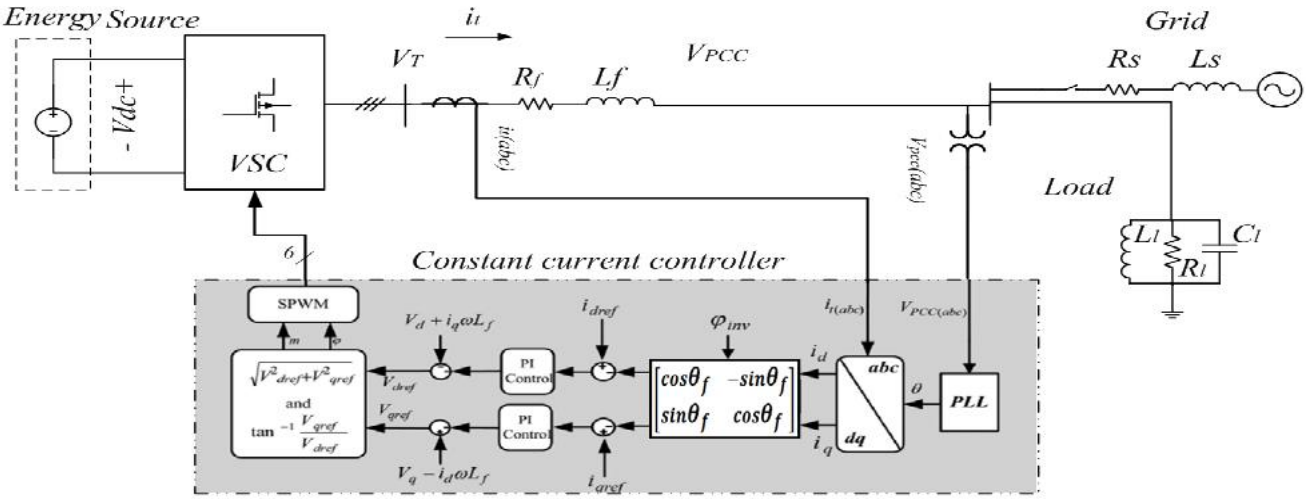
جدول (۱) : پارامتر های سیستم و اینورتر

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

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 پارامتر ها در جداول (۱) و (۲) آمده است.

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

Q_f	R(Ω)	L(μH)	C(μF)	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



شکل (۱): سیستم مورد مطالعه [۲۱]

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.1.3.7]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol13 No.1 Spring 2016

۳- تبدیل موجک

تبدیل موجک ابزاری قدرتمند در تحلیل سیگنال های غیر ایستا می باشد. این تبدیل تحلیلی در حوزه زمان فرکانس از سیگنال ورودی ارائه می دهد.همین امر تبدیل موجک را به ابزاری مناسب برای تحلیل گذراها در سیستم قدرت، تحلیل کیفیت توان و تشخیص کارکرد جزیره‌ای مناسب می سازد[۲۴-۲۲].

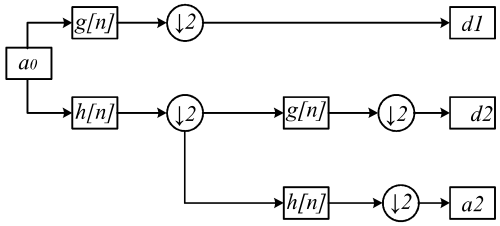
۳-۱- تبدیل موجک کلاسیک (الگوریتم ملات)

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 می شود. 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 می شود.

$$d_{j+1}[n] = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} a_j[n]\, g[2n-m] \quad (۱)$$

$$a_{j+1}[n] = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} a_j[n]\, h[2n-m] \quad (۲)$$

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



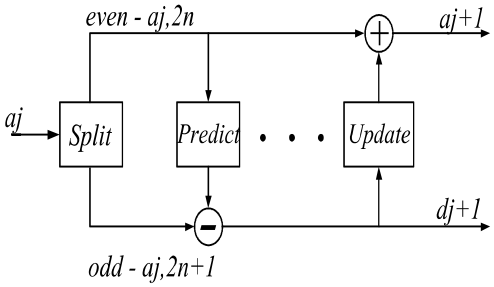
شکل (۲): ساختار تجزیه تبدیل موجک از طریق فیلتر های بالا گذر و پایین گذر

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 می یابد.

۳-۳- مزیت نسل دوم تبدیل موجک

پیاده سازی تبدیل موجک با گام های 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 می سازد[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 جزیره ای استفاده شده است. طرح لیفتینگ محاسبات پیچش در فیلتر های بالا گذر و پایین گذر در الگوریتم ملات را به ضرب ماتریسی در قالب گام های لیفتینگ تبدیل می کند. طرح لیفتینگ در ساختار نردبانی نشان داده شده در شکل (۳) پیاده سازی می شود.



شکل (۳): ساختار تجزیه سیگنال از طریق گام های لیفتینگ

طرح لیفتینگ به سه گام عمده تقسیم می شود. در گام اول که شکافتن نام دارد ضرائب سیگنال ورودی به ضرائب زوج و فرد تفکیک می شوند. در ادامه این ضرائب زوج و فرد وارد گام های سری فیلترینگ به نام های پیشگویی و به روز رسانی می شوند. با انجام محاسبات در سه گام ذکر شده ضرایب تبدیل موجک بدست می آیند.

۳-۴- انتخاب موج مادر و پیاده سازی آن با گام های لیفتینگ

در این مقاله از موجک مادر db-4 استفاده شده است. این موجک برای تشخیص مولفه های 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 می شود. لازم به ذکر است که روابط (۳) و (۵) گام های پیشگویی و رابطه (۴) گام به روز رسانی می باشد.

$$a_{j+1,n}^{(1)} = a_{j,2n+1} - \sqrt{3}a_{j,2n} \quad (۳)$$

$$a_{j+1,n} = a_{j,2n} + \frac{\sqrt{3}}{4} d_{j+1,n}^{(1)} + \frac{\sqrt{3}-2}{4} d_{j+1,n+1}^{(1)} \quad (۴)$$

$$d_{j+1,n} = d_{j+1,n}^{(1)} - a_{j+1,n+1} \quad (۵)$$

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.1.3.7]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.13- No.1 Spring 2016

۳-۵- انتروپی شانون

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

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

انتروپی 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,..,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 $P_1 = P_2 = \cdots = P_n = 1/n$ باشد.

۴) واحد انتروپی شانون به پایه لگاریتم بستگی دارد اگر a برابر ۲، e و یا ۱۰ باشد واحد این پارامتر به ترتیب برابر bit، nat و hartely خواهد بود. در این مقاله a=e در نظر گرفته شده است.

از انتروپی شانون برای محاسبه انتروپی انرژی ضرائب موجک استفاده خواهد شد.

۳-۶- آنتروپی انرژی ضرایب تبدیل موجک

انتروپی ضرائب موجک معیاری از نظم، اختلال، پیچیدگی و دینامیک سیگنال و یا سیستم می باشد[۲۶]، [۲۷].در این مقاله از انتروپی انرژی نرمال[۷] استفاده می شود. اگر یک سیگنال تا **m** سطح توسط تبدیل موجک تجزیه شود.

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

آنگاه انرژی ضرائب موجک در سطح تجزیه **j**-ام وزمان**k**-ام ، با رابطه زیر محاسبه می شود.

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

همانطور که در بالا اشاره شد، D_j ضرائب تبدیل موجک در سطح تجزیه j- ام می باشد. معمولا 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.

انتروپی انرژی ضرائب موجک با رابطه (۱۴) محاسبه می شود [۲۸].

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

$$\sum_{j=1}^{m} P_j = 1 \quad (۱۲)$$

$$0 < P_j < 1 \, , for \; every \; P_j \quad (۱۳)$$

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

در این مقاله انتروپی انرژی تبدیل موجک[۸] برای ولتاژ و فرکانس در باس وصل مشترک اینورتر به شبکه محاسبه می شود. انتروپی انرژی ولتاژ[۹] و فرکانس[۱۰] با روابط (۱۵) و (۱۶) و همچنین انتروپی انرژی کل[۱۱] با رابطه (۱۷) بدست می‌آید می شود.

$$WEEV = WEE(V_{RMS_a}) + WEE(V_{RMS_b}) + WEE(V_{RMS_c}) \quad (۱۵)$$

$$WEEF = WEE(f_{PCC}) \quad (۱۶)$$

$$WEET = WEEF + WEEV \quad (۱۷)$$

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 شده‌است. 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 می‌باشند. انتروپی آنها در هر سطح تجزیه، محاسبه شده و نتایج در جدول (۳) آورده شده

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.1.3.7]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol13 No.1 Spring 2016

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 ۲.۰۱می 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 ۰.۴۳۳ 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 روش‌های پسیو ارائه شده است. تبدیل موجک نسبت به روش های پسیو دیگر قابلیت تشخیص جزیره‌ای 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 روش‌های 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 ساندیا (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 بزرکتر 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 دیگراغتشاش وارد شده توسط روش اکتیو نیز کمتر می شود، زیرا اغتشاش وارد شده توسط روش اکتیوSFS 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 ساندیا[۱۲]

در این روش زاویه فاز اینورتر (φ_{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[۱۳] و بهره فیدبک مثبت[۱۴] روش شیفت فرکانس ساندیا میباشند[۲۹].

$$\varphi_{inv} = \frac{\pi}{2}(cf_0 + k(f_{is} - f_g)) \quad (۱۸)$$

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.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.1.3.7]

$$\varphi_{inv} = \frac{\pi}{2}(k(f_{is} - f_g)) \quad (۱۹)$$

۴-۲- مزیت روش جابه جایی فرکانس ساندیا

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

۴-۳- تنظیم پارامتر k

در مرجع [۳۰] برای تضمین تشخیص روش برای بار با ضریب کیفیت کوچکتر از۷ مقدار k برابر با ۰.۱۵ محاسبه شده‌است. بر اساس استاندارد ul 1741 روش تشخیص جزیره ای برای بار با ضریب کیفیت $Q_f<1.8$ برای بار RLC موازی باید کاکرد 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 کیفیت های بزرگتر مقدار k از مرجع [۳۰] برابر با ۰.۱۵ در نظر گرفته شده‌است. در ادامه و در بخش پنجم روشی ترکیبی برای تشخیص کارکرد جزیره ای ارائه می شود.

۴-۴- ناحیه غیر قابل تشخیص روش SFS

ناحیه غیر قابل تشخیص یا NDZ روش SFSدر [۲۹] و[۳۰] برای مقارير مختلف k رسم شده است. لازم به ذکر است که این روش یکی از کوچکترین NDZ ها را در مقایسه با روش های 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 پارامترk ثابت است و تغییر نمی کند. اگر مقدار k=0 باشد، هیچ اغتشاشی وارد سیستم نخواهد شد. روش ترکیبی به این صورت عمل می کند در ابتدا مقدار k=0 است و همواره آنتروپی انرژی ضرائب موجک برای ولتاژ و فرکانس در باس PCC محاسبه می شود و در صورت افزایش انتروپی 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 می کند و از طریق رله های فرکانسی قابل تشخیص خواهد بود[۲] و [۲۹]، و در غیر این صورت مقدار k پش از گذشت زمان مشخص دوباره به مقدار صفر تغییر می کند. حدود تعیین شده در استاندارد برای عملکرد رله های مذکور برابر با 59.3 Hz و 60.5 Hz و 88% و 110% ولتاژ نامی می باشد. به طور کلی روش ترکیبی ارائه شده دارای دو ناحیه عملکردی پسیو و اکتیو می باشد. که در ناحیه عملکردی پسیو مقدار پارامتر k برابر با صفر است و روش ترکیبی فقط انتروپی انرژی ضرائب موجک را اندازه گیری می کند و در صورت افزایش آن از حد آستانه روش وارد ناحیه اکتیو عملکرد خود می شود. در ناحیه عملکردی اکتیو مقدار k مخالف صفر است و روش مشابه روش اکتیو SFS عمل می کند. روش ترکیبی ارائه شده در این مقاله نسبت به روش اکتیو SFS اغتشاش کمتری را به سیستم وارد می کند و نسبت به روش های 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 می دهد.

۵-۱- ناحیه غیر قابل تشخیص روش پیشنهادی

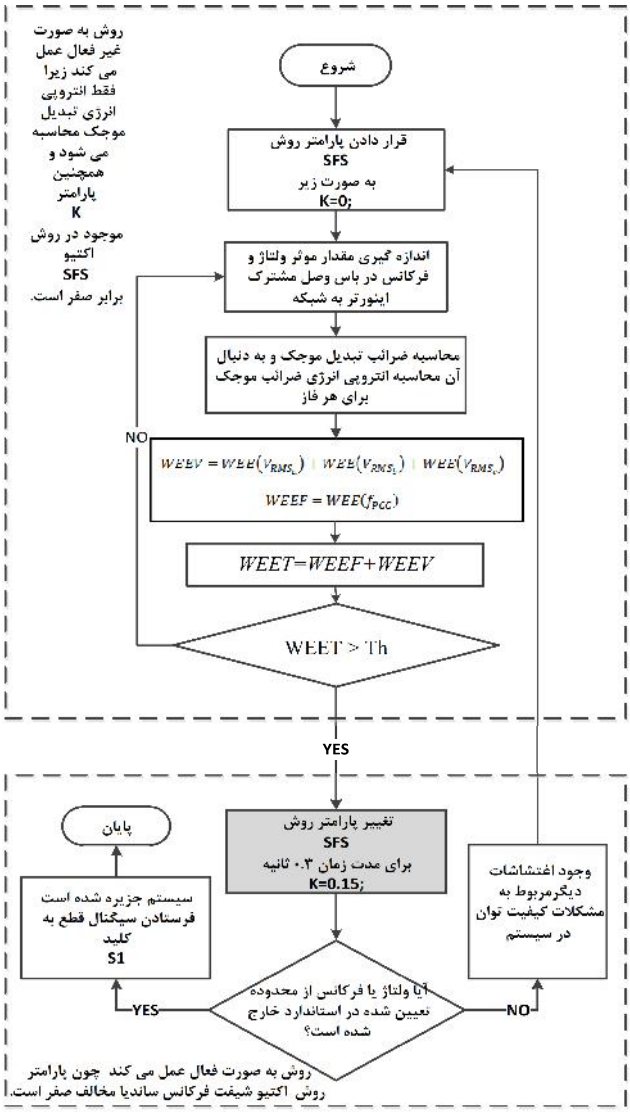
ناحیه غیر قابل تشخیص این روش با NDZ روش SFS برابر است. روش SFS دارای کوچکترین ناحیه غیر قابل تشخیص در بین روش های اکتیو می باشد. NDZ روش SFS برای مقادیر مختلف پارامتر K در مراجع [۲۹] و [۳۰] رسم شده است. به طور خلاصه با افزایش مقدار K ناحیه غیر قابل تشخیص کاهش می یابد. در این مقاله مقدار K=0.15 در نظر 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 مطاله در بخش دوم با روش ترکیبی پیشنهادی تشخیص جزیره ای ارایه شده در بخش پنجم شبیه سازی شده است و عملکرد آن مورد بررسی قرار می گیرد. در شبیه سازی از تست های جزیره ای ارائه شده در استاندارد IEEE 1547 و تست های UL 1741 برای تشخیص کارکرد جزیره ای استفاده شده است [۱, ۲] و

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.1.3.7]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol13 No.1 Spring 2016

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



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

۶-۱- اثر کارکرد جزیره ای بر روی انتروپی انرژی کل تبدیل موجک یا WEET

در این بخش نتایج استخراجی برای مقدار انتروپی 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 انتروپی انرژی را نشان می دهد. در جدول (۴) زیر نویس های ۱ در WEET، ولتاژ (v) و فرکانس (f) مربوط به کارکرد نرمال و زیر نوسیس های ۲ در همین مفادیر مربوط به کارکرد جزیره است.

جدول (۴): مقادیر ولتاژ RMS (فاز a)، فرکانس در باس PCC و انتروپی انرژی در دو حالت کارکرد نرمال (حالت ۱) و کارکرد جزیره ای (حالت ۲) به ازای بار kW۱۰۰ 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 نکرده‌اند. همچنین مقدار WEET2/WEET1=23.854 است. این مقدار به این معنی است که مقدار انتروپی انرژی در حالت جزیره (حالت ۲) ای تقریبا ۲۳ برابر حالت کارکرد عادی(حالت ۱) می باشد.بنابراین انتروپی 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 انتروپی انرژی تبدیل موجک

انتروپی 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 (انتروپی انرژی) را نشان می دهد. برای مثال با بررسی سطر مربوط به اضافه ولتاژ در جدول (۵) دیده می شود که ضریب WEETدارای مقدار

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.1.3.7]

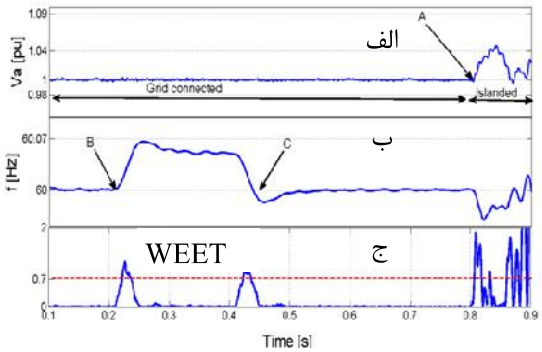
۱.۰۲۷ است که از حد آستانه تعیین شده در بخش قبل بزرگتر است (مقدار ۰.۷)، بنابراین در این موارد روش تشخیص اشتباه خواهد داشت. برای رفع این مشکل از روش ترکیبی استفاده شده است.

جدول (۵): تاثیر اغتشاشات ولتاژی و فرکانسی بر روی ضریب انتروپی انرژی WEE، 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 [Hz]			
	before	After	before	after
frequency shift	60	60.2	0.018	2.22

۶-۳- اثر تغییر فرکانس بر روی انتروپی انرژی تبدیل موجک

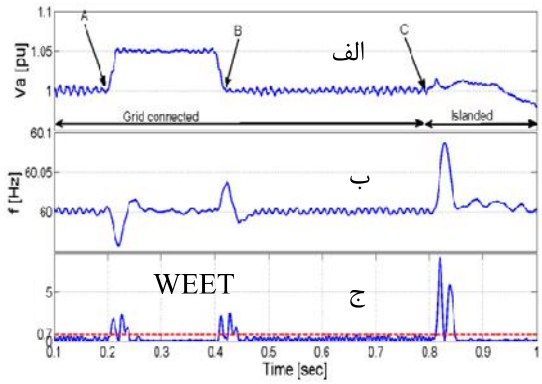
در این بخش اثر تغییرات فرکانس بر روی روش پیشنهادی بررسی میشود. نتایج در شکل ۵ آمده است. در شکل (۵) در بین بازه زمانی ۰.۲ تا ۰.۴ ثانیه فرکانس شبکه به اندازه ۰.۰۵ هرتز افزایش یافته است و سیستم در زمان ۰.۸ ثانیه سیستم جزیره شده است. در قسمت (ج) شکل ۵ تغییرات انتروپی انرژی WEET دیده می شود. اگر حد آستانه 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 انتروپی انرژی تبدیل موجک از حد آستانه بزرگتر شده است.



شکل (۵): الف) ولتاژ RMS فاز a در باس PCC ب) فرکانس در باس PCC ج) انتروپی 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.

۶-۴- اثر تغییر ولتاژ (اضافه ولتاژ) بر روی انتروپی 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 انتروپی 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) انتروپی 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 انتروپی انرژی 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 وجو آمده حالت جزیره ای نبوده و سیستم با تغییر پارامتر k به صفر دوباره به حالت عملکردی پسیو خود باز می گرد.

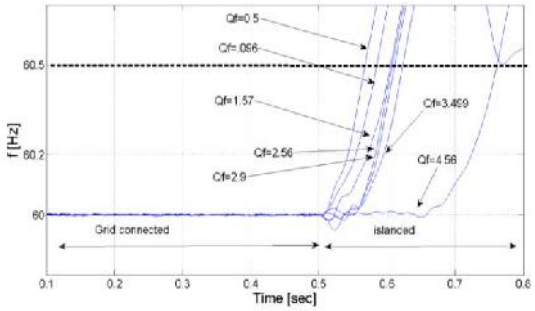
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.1.3.7]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol13 No.1 Spring 2016

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 شده‌است. 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 منبع 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 درجدول (۱) و جدول (۲) آمده است.

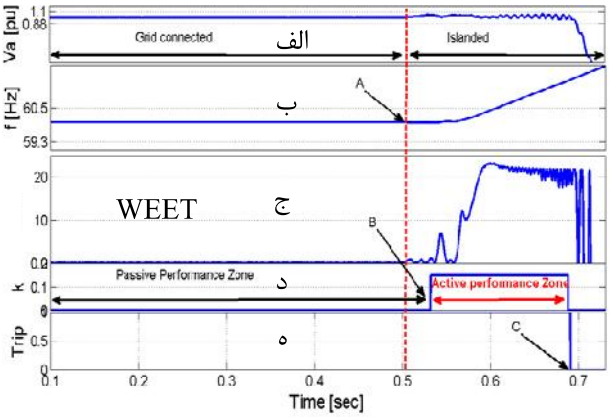
۷-۱- اثر ضریب کیفیت بار

در شکل (۷) نتایج شبیه سازی برای بار با ضریب کیفیت های مختلف آمده است. در این شکل دیده می شود که فرکانس در باس 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 بار ها با ضریب کیفیت های مختلف هملکرد خوبی دارد و تقریبا 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 ۱۰۰kW 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) انتروپی انرژی موجک د) پارامتر kکه مربوط به روش اکتیو SFSاست. 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

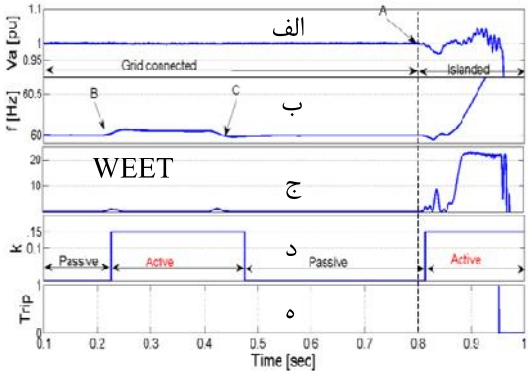
با توجه به حساسیت تبدیل موجک به گذراهای ولتاژ و فرکانس در این بخش عملکرد روش ارائه شده با وجود تغییرات در ولتاژ و فرکانس بررسی می شود.در شبکه توزیع تغییرات ولتاژ در قالب کمبود و بیشبود ولتاژ رخ می دهند که ممکن است دامنه این تغییرات در بین حدود تعیین شده برای ولتاژ در استاندارد باشد (۸۸ درصد تا ۱۱۰ درصد 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] جزیره‌ای شدن رخداده 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

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.1.3.7]

چون تغییراتی در فرکانس ایجاد نشده است دوباره مقدار k به صفر تغییر کرده است. در واقع با این عمل سیستم 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.

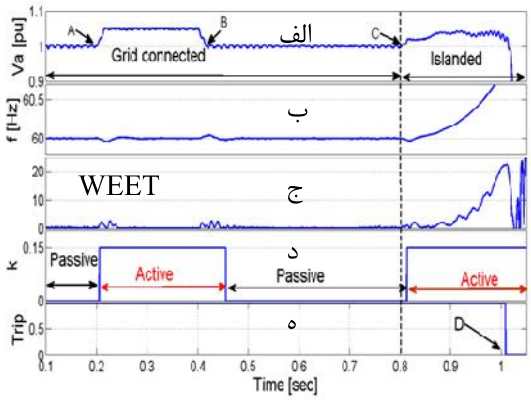


شکل (۹): الف) ولتاژ RMS فاز a در باس PCC ب) فرکانس در باس PCC ج) انتروپی انرژی موجک د) پارامتر kکه مربوط به روش اکتیو SFSاست. ه) سیگنال قطع، زمان [sec] t=0.8 سیستم جزیره شده است. و در بازه زمانی بین ۰.۲ تا ۰.۴ ثانیه فرکانس به اندازه ۰.۰۵ هرتز تغییر کرده است. بار در جزیره توان برابر ۱۰۰ کیلووات با ضریب 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 وB اضافه ولتاژی به اندازه ۰.۰۵ پریونیت رخداده 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 S1 ارسال شده است.



شکل (۱۰): الف) ولتاژ RMS فاز a در باس PCC ب) فرکانس در باس PCC ج) انتروپی انرژی موجک د) پارامتر kکه مربوط به روش اکتیو SFSاست. ه) سیگنال قطع، زمان [sec] t=0.8 سیستم جزیره شده است. و در بازه زمانی بین ۰.۲ تا ۰.۴ ثانیه ولتاژ به اندازه ۰.۰۵ پریونیت تغییر کرده است. . بار در جزیره توان برابر ۱۰۰ کیلووات با ضریب کیفیت ۴.۵۶ می باشد.

۸- نتیجه گیری

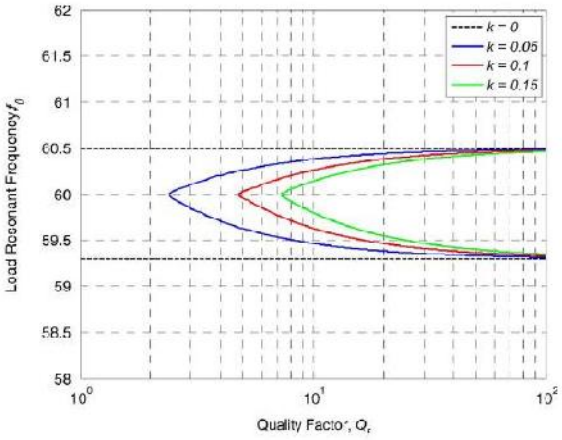
در این مقاله روشی ترکیبی بر اساس نسل دوم تبدیل موجک و روش جابجایی فرکانس ساندیا ارائه گردید. روش ارائه شده دارای دو ناحیه عملکردی غیر فعال و فعال می باشد. در ناحیه عملکردی غیر فعال این روش با محاسبه انتروپی انرژی ولتاژ و فرکانس در باس PCC تغییرات و گذرا و دینامیک سیستم را اندازه گیری می کند و در صورت افزایش مقدار انتروپی 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 ازبین 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 شیفت

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.1.3.7]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol13 No.1 Spring 2016

فرکانس ساندیا 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 کاکرد حالت دائم هیچ اغتشاشی به سیستم تزریق نمیشود 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 ساندیا 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 ElectricPower Systems, IEEE Standard 1547-2003, Jul. 2003.

[2] Underwriters Laboratories, Inc., “Static inverter and charge controllersfor 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 multipleinverters 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 methodsfor photovoltaic utility interactive power systems,” Int. Energy AgencyImplementing Agreement Photovoltaic Power Syst., Tech. Rep. IEAPVPS T5-09, Mar. 2002.

[6] H. H. Zeineldin, “A Q-f droop curve for facilitating islanding detectionof 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 islandingdetection 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 analysisbetween ROCOF and vector surge relays for distributed generationapplications,” 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 coordinationof 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 distributedgenerations using voltage unbalance and total harmonic distortion incurrent,” 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 detectionmethod 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

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.1.3.7]

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," IEEETrans. Energy Convers., vol. 22, no. 3, pp. 792–794, Sep. 2007.
[17] ب. صبحانی، ع. اکبری مجد ،ح. شایقی، "کنترل کننده پیشفاز-پسفاز 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 .جلیلوند، 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 پائیز 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 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

زیرنویس‌ها

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

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.1.3.7]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol13 No.1 Spring 2016

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.1.3.7]