

شناسایی جزیره در منابع تولید پراکنده با وجود چند منبع تولید پراکنده با روش نوسان ساز دافینگ

زهره داودی^۱، علیرضا روستا، شریف الدین شریف

^۱ گروه فنی و مهندسی، کازرون، دانشگاه آزاد اسلامی، کازرون، ایران
Davoodi6@yahoo.com

چکیده

جزیره ای شدن منابع تولید پراکنده شرایطی است که طی آن قسمتی از سیستم که شامل منابع تولید پراکنده و مصرف کننده می باشند، به صورت جدا از شبکه به کار خود ادامه می دهند. با توجه به اینکه در حالت جزیره ای با مشکلاتی نظیر کاهش کیفیت توان، احتمال باز بست خارج از فاز و عدم کنترل مناسب ولتاژ و فرکانس روبرو هستیم، احتمال آسیب رسیدن به تجهیزات تولید کننده و مصرف کننده وجود دارد. بنابراین، تمامی منابع تولید پراکنده بایستی به یک روش موثر در تشخیص جزیره ای شدن مجهز باشند، تا در کمتر از 2 ثانیه حالت جزیره ای تشخیص داده شود. با افزایش روزافزون نفوذ منابع تولید پراکنده اینورتری در سیستم قدرت، و احتمال تأثیر منفی تشخیص جزیره ای شدن بر عملکرد همدیگر، بررسی عملکرد حفاظت ضد جزیره ای در حالت چند اینورتری از اهمیت بسزایی برخوردار است.

در این مقاله حفاظت ضد جزیره ای منابع تولید پراکنده در صورت وجود چندین منبع تولید پراکنده با استفاده از روش اسیلاتور دافینگ مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی

منابع تولید پراکنده، روشهای تشخیص جزیره، روش پیسو، نوسان ساز دافینگ، ناحیه ی عدم تشخیص.

۱- مقدمه

مجهز کردن منابع تولید پراکنده ی موجود در سیستم قدرت به روش های تشخیص جزیره، لازم و ضروری است. طبق استاندارد IEEE1547، جزیره شدن سیستم باید حداکثر در مدت زمان 2 ثانیه تشخیص داده و تولید DG ها قطع شود. [2] برای تشخیص جزیره ای شدن تاکنون روشهای زیادی ارائه شده است که در حالت کلی می توان آن ها را به دو روش عمده تقسیم بندی کرد: دسته اول روش تشخیص راه دور بر پایه روشهای مخابراتی و روش دوم تشخیص محلی می باشد. روش تشخیص محلی خود شامل دو دسته فعال و غیرفعال می باشد.

دو معیار مهم در بررسی کارایی روشهای تشخیص جزیره، ۱- ناحیه ی عدم تشخیص (NDZ)، ۲- سرعت تشخیص جزیره است. روشهای غیرفعال فقط با مشاهده تغییر در پارامترهای سیستم پیرو رخدادهای صورت گرفته انجام میگیرد، که این مشاهده بر روی تغییرات پارامترهایی نظیر ولتاژ، فرکانس، نسبت تغییر فرکانس، رویت اختلاف فاز و... می باشد. بنابراین اصول عملکرد روشهای غیرفعال، استناد بر رویت یک پارامتر خاص، و تشخیص جزیره ای شدن بر اساس آستانه انتخاب شده برای

امروزه منابع تولید پراکنده به عنوان تکنولوژی جدیدی در سیستم قدرت ظاهر شده است، ممکن است نزدیکی به محل مصرف و بهره برداری از آن در مواقع اضطراری دلایل استفاده از آن باشد، اما این منابع را بیشتر به جهت استفاده از منابع تجدیدپذیر مانند باد و نور خورشید می توان مفید دانست. این منابع در شکل سنتی سیستمهای قدرت تأثیر زیادی دارند. مهم ترین جنبه ی این تأثیر، تغییر تنظیم سیستم حفاظتی است که دوباره باید بازبینی شود. تشخیص جزیره ای شدن شبکه از جمله مواردی است که در سیستم شامل منابع تولید پراکنده باید در نظر گرفته شود. [1] جزیره ای شدن به حالتی گفته میشود، که قسمتی از شبکه ی قدرت اصلی، شامل بار و تولید از مابقی سیستم جدا میشود ولی همچنان تولید منبع و مصرف بار در این قسمت ادامه می یابد. ایمنی کارکنان و تجهیزات شبکه و مصرف کنندگان با وجود تداوم تولید توسط منبع تولید پراکنده (DG) دچار اختلال می شود.

پارامترهای این منابع با پارامترهای شبکه تک منبع یکسان است. سیستمهای کنترلی و نیز تشخیص جزیره برای هر کدام از منابع یکسان و به صورت مستقل در نظر گرفته شده است، تا علاوه بر مقایسه با حالت اول، تأثیرات اتصال چند منبع تولید پراکنده به روشنی مشخص شود.

۳- نوسان ساز دافینگ

بی نظمی، رفتار پیچیده ای از یک سیستم غیر خطی را توصیف می کند. بطور کلی دینامیک غیر خطی سیستم دارای چهار حالت است: (۱) نقطه ثابت، (۲) حرکت دوره ای، (۳) حرکت بی نظم و (۴) حرکت شبه تناوبی (حرکت تناوبی بزرگ). نوسان ساز دافینگ از طریق تغییر از حالت حرکت بی نظمی به حرکت تناوبی بزرگ به تشخیص می پردازد.

صورت نرمال معادله دافینگ به شرح زیر می باشد:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \delta \frac{dx}{dt} - x + x^3 = \gamma \cos(t) \quad (1)$$

که در آن δ ، نسبت میرایی، ترم " $-x+x^3$ " نیروی بازگردان غیر خطی، و $\gamma \cos(t)$ نیروی محرکه دوره ای می باشد.

اگر $\gamma = \gamma_c$ ، γ_c (به مقدار بحرانی برمی گردد) پس از آن سیستم در حالت بحرانی است (بی نظمی اما تغییر به سمت حرکت دوره ای). سیگنال شناسایی شده (D_f) می تواند به عنوان یک اختلال اصلی نیرو محرکه سینوسی $\gamma \cos(t)$ (سیگنال مرجع) مشاهده شود.

برای تخمین لحظه جزیره ای شدن سیستم یک نوسان ساز دافینگ طراحی شده است. نوسان ساز دافینگ باید دارای یک سیگنال ورودی باشد که با سیگنال D_f ترکیب شود. به منظور تشخیص وضعیت جزیره ای، γ_c یک مقدار ثابت برای کار اسپلاتور در حالت بی نظمی تنظیم شده است. بعد از حالت جزیره ای شدن سیگنال D_f ، (که از سیستم به سیگنال ورودی دافینگ تزریق شده است)، می تواند حالت اسپلاتور را از حرکت بی نظمی به حرکت دوره ای بزرگ و بلعکس تغییر دهد. برای تشکیل سیگنال ورودی، اولین انحراف فرکانس باید به صورت زیر تعریف شود:

$$D_f = \Delta f_0 + k_f |\Delta f| = \Delta f_0 + k_f |f - f_0| \quad (2)$$

که در آن Δf_0 مقدار آفست انحراف فرکانسی، k_f عامل بهره انحراف فرکانسی، f فرکانس سیستم و f_0 ، فرکانس نامی سیستم است. بنابراین سیگنال ورودی به صورت زیر بیان می شود:

$$D_f \cos(\omega t) = \text{ورودی} \quad (3)$$

شکل ۲ فلوجارت تشخیص جزیره ای شدن را با استفاده از نوسان ساز دافینگ نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود، سیگنال ورودی به اضافه نیرو محرکه برای تغذیه کردن اسپلاتور دافینگ برای نظارت بر وضعیت سیستم می باشد. با توجه به (۲)، در حالت اتصال به شبکه، مقدار Δf به علت کنترل شبکه بر روی فرکانس ناچیز است و نمی تواند به نوسان ساز انتقال دهد. در مقابل، در حالتی که سیستم در حالت جزیره ای است، به علت عدم وجود

آن پارامتر می باشد. [3] این روش ها به علت داشتن ناحیه غیر قابل تشخیص بزرگ، چندان کارآمد نیستند. ناحیه غیر قابل تشخیص به ناحیه ای گفته می شود که در حالت ایجاد جزیره، در صورتی که پارامترهای رویت شونده در آن ناحیه قرار بگیرند جزیره ای شدن تشخیص داده نخواهد شد.

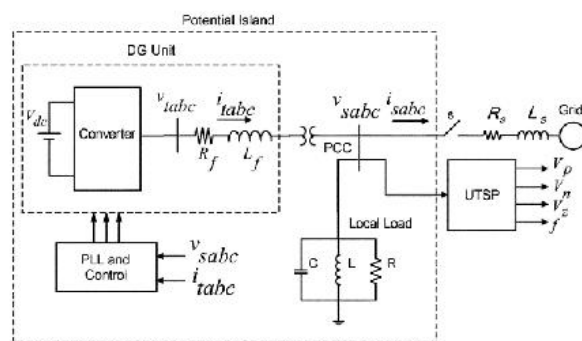
بر خلاف روش فعال روش غیرفعال که برای تشخیص جزیره ای شدن تنها برخی از پارامترهای سیستم را رویت می کند، در روش اکتیو اساس کار ایجاد تغییرات و یا اختلالات عمدی در سیستم و سپس رویت پاسخ سیستم به این اختلالات جهت تشخیص جزیره ای شدن می باشد. به این صورت که با خروج پارامترهای رویت شونده از ناحیه جزیره ای شدن تشخیص داده می شود. این روش دارای ناحیه عدم تشخیص کوچک است ولی اختلالاتی بر روی سیستم ایجاد می کند به خصوص در حالت حضور چند تولید پراکنده (چند اینورتری) و به همین دلیل اگر در روش پسو بتوان به نوعی ناحیه عدم تشخیص را کوچک یا قابل صرف نظر کرد می تواند موثرتر از روش فعال باشد. استفاده از نوسان ساز دافینگ در روش پسو هم دارای زمان تشخیص مناسب (که حدود 0.6 ثانیه می باشد) و هم ناحیه عدم تشخیص کوچک و قابل صرف نظر کردن می باشد، می تواند روش مناسبی برای شناسایی باشد.

این روش برای حالت های مختلف سیستم مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله به بررسی این روش در حالت چند تولید پراکنده پرداخته و تأثیر آن ها بر این نوسان ساز بررسی می گردد.

بخش های بعدی این مقاله بدین گونه ادامه می یابد، بخش دوم شبکه ی مورد مطالعه را بررسی می کند در بخش سوم نوسان ساز دافینگ در بخش چهارم نحوه شناسایی جزیره با آن مورد بررسی قرار می گیرد و نتایج حاصل از تحلیل شبکه در حالت اتصال یک منبع تولید پراکنده را نشان می دهد. در بخش پنجم اتصال چندین منبع تولید پراکنده به شبکه مورد تحلیل قرار داده شده است. در بخش ششم به مطالعه ناحیه عدم تشخیص می پردازیم و در نهایت تحلیل نتایج و جمع بندی ارائه گردیده است.

۲- شبکه مورد مطالعه

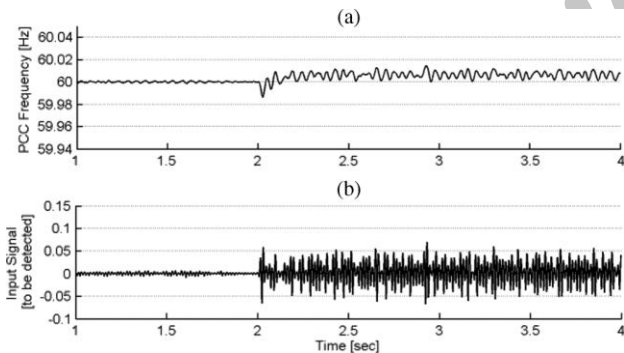
شبکه ی مورد مطالعه در حالت اول، شبکه ی استاندارد IEEE1741، می باشد، که در شکل ۱ به صورت تک خطی نشان داده شده است. منبع DC، به عنوان تولید پراکنده نشان داده شده است. واحد کنترل کننده VSC، و فیلتر سری نیز در شکل ۱ نشان داده شده است. بر طبق استاندارد



شکل ۱: دیاگرام شماتیک منبع اینورتری و بار محلی متصل به شبکه IEEE1547. بار RLC، به عنوان بار محلی در شبکه استفاده می شود.

$h_n(y)$ هارمونیک n ام از سیگنال y را نشان می دهد، و مقدار آستانه به درستی برای تشخیص بین نرمال و شرایط جزیره ای در نظر گرفته شده است. در این مقاله، بهترین مقدار آستانه با آزمون و خطا 0.13 مشاهده شده است. مشکل دیگر این است که براساس الگوریتم ذکر شده، تغییر حالت از حرکت بی نظمی به حرکت تناوبی بزرگ در حالت متصل به شبکه با تغییر بار نیز رخ می دهد. اما در چنین شرایطی، تغییر حالت نوسان ساز برای برگشت به حالت بی نظمی در حدود 0.5s است. بنابراین برای اجتناب از تریپ های ناخواسته، زمان تاخیر نیز در الگوریتم در نظر گرفته شود. در شکل ۲، T لحظه ای از تایمر است. با راه اندازی تایمر، T از صفر تا تاخیر را خواهد شمرد. به اندازه این زمان تاخیر براساس تغییر بار تحت عملکرد نرمال سیستم محاسبه می شود. زمان تاخیر در همه شبیه سازی ها 0.5s یافت شد. آزمون UL 1741 مشخص می کند که یک روش شناسایی جزیره باید در تشخیص پدیده جزیره ای در 2s برای بارهای RLC با $Q_f \leq 1.8$ موفق باشد [4].

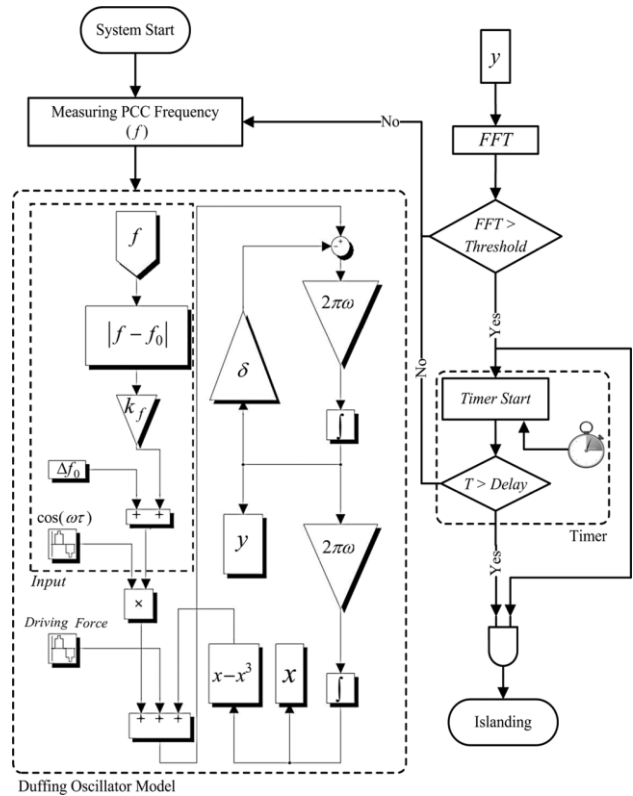
شکل ۳ فرکانس PCC و سیگنال ورودی نوسان ساز دافینگ را برای $Q_f = 1.57$ نشان می دهد. این یکی از سخت ترین شرایط بار گذاری باتوجه به نزدیکی فرکانس رزونانس بار و فرکانس سیستم است. نشان داده شد که روش ارائه شده قادر است سیستم جزیره را با تشخیص تغییر حالت نوسان ساز دافینگ در کمتر از یک ثانیه شناسایی کند (با استفاده از کامپیوتر معمولی و نرم افزار متلب برای بدترین حالت، در حدود 0.1s طول می کشد). به عنوان یک نتیجه، زمان کل (زمان تشخیص بعلاوه زمان تاخیر عمدی) در حدود 0.6s است. که این زمان زیر زمان استاندارد که 2s است می باشد [4].



شکل ۳: آزمون عامل کیفیت بار برای $Q_f = 1.57$. (a) فرکانس PCC. (b) سیگنال ورودی دافینگ.

۵- تشخیص جزیره در شبکه شامل چندین منبع

شبکه ی توزیع شکل ۴ سیستم مورد بررسی را نشان می دهد. این شبکه شامل سه منبع تولید پراکنده است، که به صورت شعاعی به شبکه ی اصلی متصل هستند. منبع ولتاژ ثابت که نشاندهنده ی منبع تولید پراکنده است، میتواند یک منبع فوتوولتاییک یا بادی باشد که با استفاده از اینورتر با شبکه سنکرون میشود. سیستم کنترلی و پارامترهای هر کدام از منابع طبق شبکه ی استاندارد IEEE1741 ساخته شده اند. بار محلی هر کدام از منابع یک بار RLC موازی، با فرکانس رزونانس شبکه است. با قرار دادن بریکرها روی خطوط ارتباطی میتوان سناریوهای جزیره را تعریف کرد. با در



شکل ۲: فلوجارت از نوسان ساز دافینگ ارائه شده

شبکه، f از فرکانس نامی تاثیر نمی گیرد و عامل بهره k_f با ضرب در Δf یک سیگنال با قدرت کافی به نوسان ساز دافینگ می فرستد.

۴- بررسی در حال اتصال یک منبع تولید پراکنده

در روش ارائه شده در این مقاله، استخراج سیگنال تریپ بر اساس آنالیز تبدیل فوریه سریع (FFT) خروجی نوسان ساز دافینگ (y) می باشد. فرمان استخراج سیگنال می تواند بیشتر برای غیر فعال کردن و یا نحوه تغییر عملکرد DG استفاده شود.

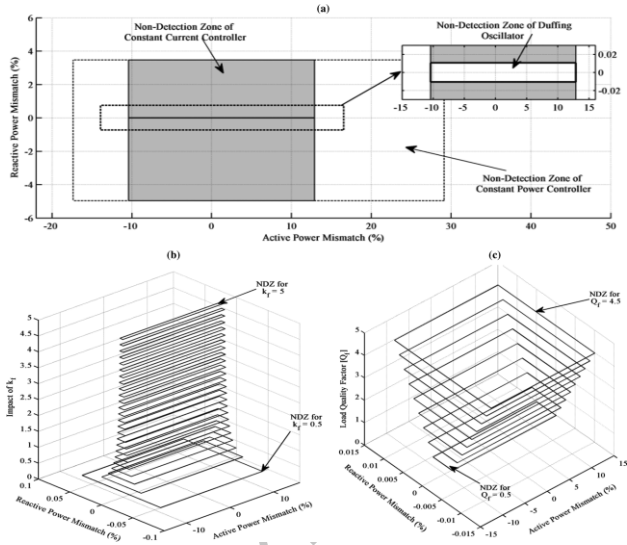
شکل موج سیگنال خروجی نوسان ساز دافینگ (y) در طول حرکت تناوبی بزرگ متناوب است؛ اما در طول حرکت بی نظمی یا آشوب نامتقارن است. برای شکل موج متقارن، ضرایب FFT تقریباً صفر است. در مقابل، برای شکل موج نامتقارن، هر دو ضریب زوج و فرد بیشتر از صفر است. این حقیقت، نکته کلیدی برای تشخیص حالت های مختلف در نوسان ساز دافینگ است. علاوه بر این، بسیاری از نتایج شبیه سازی، نشان داده که هارمونیک سه از سیگنال y بیشترین درصد در حالت تناوبی بزرگ و حالت بی نظمی یا آشوب در نوسان ساز دافینگ را دارد.

براساس این نکات، تفاوت بین هارمونیک سوم و چهارم از سیگنال y ، بهترین معیار برای تشخیص حالت نوسان ساز است. بنابراین سیگنال فرمان به سادگی به روش زیر محاسبه می شود:

$$\begin{cases} \text{trip} = 0 & \text{if } \{ h_3(y) - h_4(y) < \text{threshold} \} \\ \text{trip} = 0 & \text{if } \{ h_3(y) - h_4(y) > \text{threshold} \}, \{ T > \text{Delay} \} \end{cases}$$

۶- مقایسه NDZ

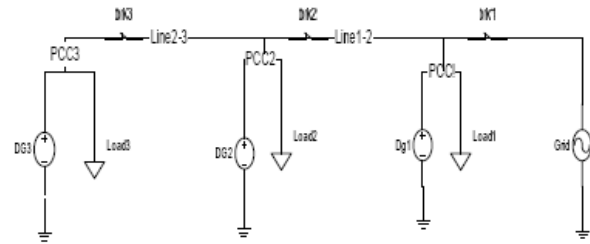
سیستمی که نشان داده شد برای بررسی روش ارائه شده مدل سازی شده است. در تمام شبیه سازی ها شرایط واحد پاور فکتور در نظر گرفته شده است. در اغلب موارد، ناهماهنگی توان اکتیو و راکتیو بین خروجی DG و بار وجود دارد. هنگامی که سیستم در حالت اتصال به شبکه است، این عدم ناهماهنگی توسط شبکه برطرف می شود. هنگامی که شبکه قطع است، ولتاژ و فرکانس باید با توجه به رابطه بین توان اکتیو و راکتیو و ولتاژ و فرکانس سیستم یک مقدار جدید داشته باشند. شکل 6(a) مقایسه NDZ روش پیشنهادی با OVP/UVF و OFP/UFP برای جریان ثابت و کنترلر توان ثابت نشان می دهد. در این شکل، عدم تطابق توان اکتیو/راکتیو براساس درصدی از توان اکتیو سیستم (100KW در این مقاله) رسم شده است. در شکل 6(a)، پارامترهای شبیه سازی $K_f=5$ و عامل کیفیت بار برابر 1 می باشد. NDZ روش پیشنهادی بسیار کوچک نشان داده شده و می تواند صرف نظر شود. علاوه بر این، شکل 6(b),(c)، بررسی حساسیت NDZ برای K_f و Q_f را نشان می دهد. در شکل 6(b)، $Q_f=1$ و $K_f=0.5$ تا 5 با گام 0.2 تغییر می کند. شکل 6(c)، با ثابت نگه داشتن $K_f=0.5$ و تغییر Q_f از 0.5 تا 4.5 با گام 0.5 می باشد. با توجه به شکل 6(b),(c)، می توان به این نتیجه رسید که NDZ روش پیشنهادی منوط به جای گزینی انحراف فرکانس به جای عامل کیفیت بار است.



شکل ۶: بررسی NDZ در روش ارائه شده. (a) مقایسه NDZ روش پیشنهادی با OVP/UVF و OFP/UFP، NDZ با انواع مختلف کنترلر اینورتر. (b) آنالیز حساسیت NDZ برای $K_f=[0.5:0.2:5]$ و $Q_f=1$. (c) آنالیز حساسیت NDZ برای $K_f=5$ و $Q_f=[0.5:0.5:5]$

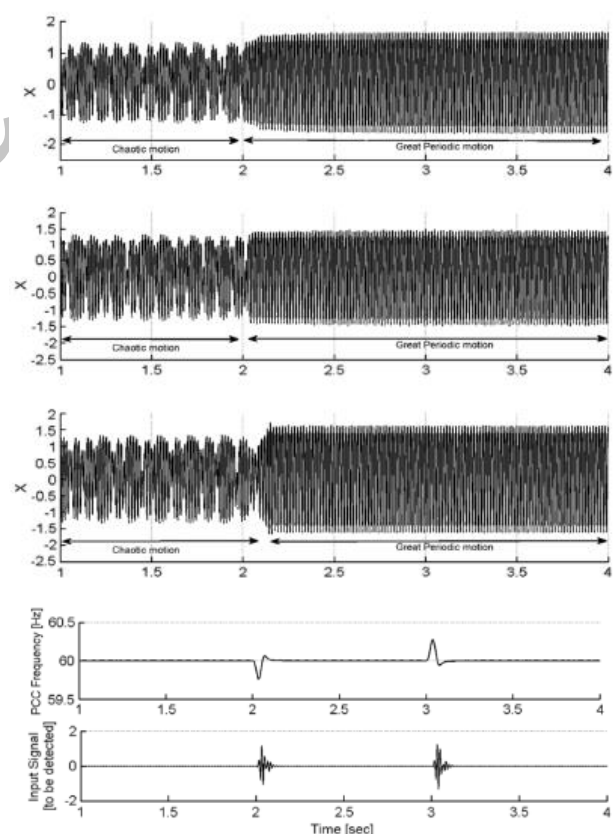
۷- نتیجه

در اینجا در مطالعه بر روی شبکه ی استاندارد تشخیص جزیره ی IEEE 1547 انجام و تشخیص جزیره ای شدن شبکه با روش نوسان ساز دافینگ با سرعتی بالا و بدون ناحیه ی عدم تشخیص شناسایی شد. و سه منبع تولید پراکنده ای نورتری به صورت شعاعی به شبکه ی اصلی متصل شده اند. و دیده شد که استفاده از این روش در حالت وجود چند منبع تولید پراکنده نیز پاسخ گو برای شناسایی جزیره می باشد.



شکل ۴: دیاگرام اتصال سه DG به شبکه

نظر گرفتن فرکانس نقطه مشترک در نقطه ی اتصال مشترک با بار محلی جزیره تشخیص داده می شود. برای مقایسه با حالت قبل که فقط یک منبع تولید پراکنده به شبکه متصل بود، هر سه منبع، اینورتری و با پارامترهای یکسان در نظر گرفته شده اند. هر سه منبع در نقطه ی اتصال مشترک به بار محلی یکسانی متصل اند. بارها به گونه ای تنظیم شده اند که برابر با تولید منبع متصل باشند و توانی از دیگر منابع و شبکه ی اصلی دریافت نکنند. این حالت، یعنی برابری مصرف بار محلی و تولید منبع محلی چالش انگیزترین شرایط برای تشخیص جزیره می باشد. چرا که در صورت نابرابری تولید و مصرف پارامترهای سیستم بیشتر و سریعتر تغییر کرده و تشخیص جزیره به آسانی صورت می گیرد. همانطور که در شکل ۵ ملاحظه می شود اتصال منابع هم در روند تشخیص مشکلی ایجاد نکرده است.



شکل ۵: روند تشخیص با حضور چند منبع منابع

منابعی که در شبکه ها می توانند مورد بررسی قرار گیرند شامل منابع ژنراتوری و اینورتری باشند.

ضمایم

مقدار این سیستم 100KW و پارامتر های دیگر نیز به صورت زیر می باشد:

- پارامتر های شبکه و اینورتر
- نرخ خروجی DG: 120 kVA،
- توان خروجی DG: 100 kW،
- فرکانس سوئیچ: 8 kHz،
- ولتاژ DC ورودی: 900 V،
- ولتاژ (خط به خط): 480 V،
- فرکانس سیستم (f): 60 Hz،
- مقاومت شبکه (R_s): 0.012Ω ،
- اندوکتانس شبکه (L_s): 0.305 mH،
- اندوکتانس فیلتر (L_f): 800 μ H،
- مقاومت فیلتر (R_{Lf}): 0.004Ω ،
- ظرفیت فیلتر (C_f): 30 μ F،
- مقاومت فیلتر (R_{cf}): 1 Ω ،
- پارامتر های کنترلر جریان ثابت DG
- I_d کنترل $K_p = 0.2, K_i = 100$ ،
- I_q کنترل $K_p = 0.2, K_i = 100$.

مراجع

- [1] G. Pepermans, J. Driesen, D. Haeseldonckx, R. Belmans, and W. D'haeseleer, "Distributed generation: definition, benefits and issues," *Energy policy*, vol. 33, pp. 787-798, 2005.
- [2] T. S. Basso and R. DeBlasio, "IEEE 1547 series of standards: interconnection issues," *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 19, pp. 1159-1162, 2004.
- [3] Hesam Vahedi, Reza Noroozian, Abolfazl Jalilvand, and Gevorg B. Gharehpetian, "A New Method for Islanding Detection of Inverter Based Distributed Generation Using DC-Link Voltage Control," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 26, no. 2, April 2011
- [4] 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.

زیر نویس ها

¹ None Detection Zone