



مطالعه پخش بار در ریز شبکه های هایبرید

رضا تواضعی^۱، سید مهدی بهاری زاده^۲

* نویسنده مسئول: reza.tavazoei@iaukhsh.ac.ir

واژه های کلیدی

ریز شبکه هایبرید، پخش بار، کنترل افتی

چکیده

در این مقاله مطالعه و تحلیل مسئله پخش بار در ریز شبکه های هایبرید مورد توجه قرار می گیرد. ریز شبکه هایبرید، از اتصال ریز شبکه های ac و dc توسط کاتورتر واسطه (IC) ایجاد می شود. این ساختار امکان اتصال مستقیم منابع و بارهای ذاتا ac به شبکه ac و منابع و بارهای ذاتا dc به شبکه dc جهت افزایش راندمان و کاهش هزینه ها را فراهم می کند. در این مقاله فرمول بندی مورد نیاز تحلیل مسئله پخش بار در این نوع از سیستم های قدرت ارائه شده و بر اساس روش نیوتن-رافسون تحلیل می گردد. انطباق نتایج شبیه سازی زمانی با پاسخ روش تحلیل پخش بار ارائه شده جهت تایید صحت روش ارائه شده استفاده خواهد شد.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر

۲- مربی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر

۱- مقدمه

ac در حد امکان از طریق ریزشبه متناسب خود تغذیه شده و در صورت عدم توازن در هر یک از این بخش‌ها از تبدیلات ac به dc و برعکس استفاده می‌شود [۳]. در شکل (۱) یک ریزشبه هایبرید نشان داده شده است.

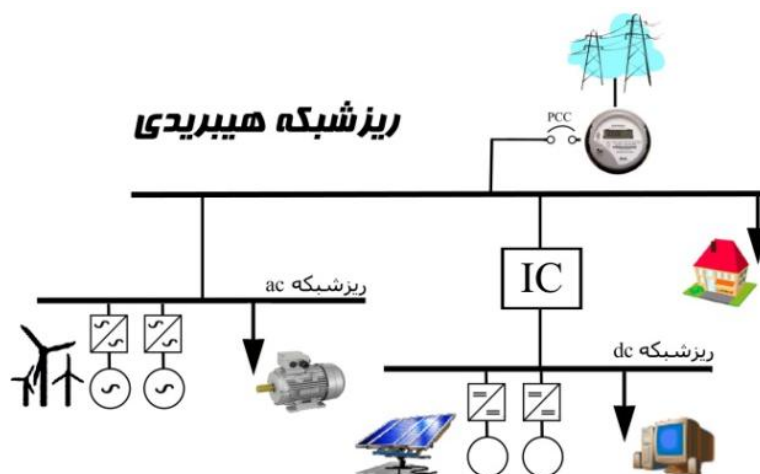
مطالعه پخش بار یک ابزار ضروری و اساسی برای تحلیل حالت پایدار هر سیستم قدرتی است که به کمک آن می‌توان شارش توان های اکتیو و راکتیو در خطوط مختلف را برای یک شرایط بارگذاری مشخص بدست آورد. در این مقاله مسئله پخش بار در حالت عملکرد جزیره‌ای ریزشبه‌های هایبرید مطالعه و تحلیل خواهد شد. قبلاً در [۴] مساله پخش بار در ریزشبه dc و در [۵] پخش بار در ریزشبه ac مورد مطالعه قرار گرفته است.

۲- ساختار کنترل غیرمتمرکز در ریزشبه هایبرید

در حالت عملکرد جزیره‌ای، منابع موجود در یک ریزشبه وظیفه‌ی تقسیم بار و کنترل ولتاژ را در ریزشبه‌های dc و علاوه بر آن کنترل فرکانس را در ریزشبه‌های ac به عهده دارند. کنترل ولتاژ در این منابع باید به گونه‌ای باشد که ولتاژ باس‌های مختلف ریزشبه در حدود مجاز و نزدیک یک پریونیت باشد. کنترل فرکانس منابع نیز می‌بایست نزدیک به نامی بودن فرکانس شبکه را

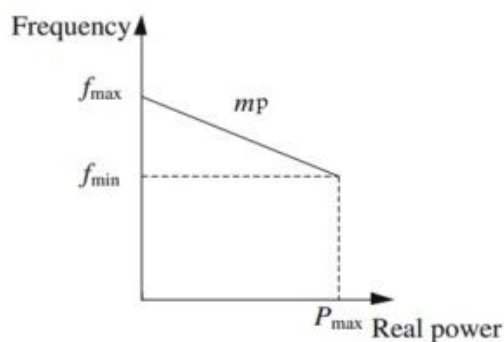
استفاده از منابع پراکنده در شبکه‌های توزیع الکتریکی روزه‌روز افزایش می‌یابد. این گسترش محاسن بالقوه زیادی را از قبیل افزایش بهره‌وری سوخت، ارتقاء قابلیت اطمینان، کاهش نیاز به سرمایه‌گذاری برای احداث خطوط انتقال جدید و امکان بکارگیری منابع تجدیدپذیر در مقیاس‌های کوچک را بدنبال دارد. از طرف دیگر نفوذ منابع پراکنده ساختار شبکه‌های توزیع را دچار تحول اساسی کرده که این موضوع به نوبه خود باعث مشکلاتی نیز می‌گردد. یکی از مفاهیم جدید در شبکه‌های شامل منابع پراکنده، ریزشبه می‌باشد. ریزشبه عبارت است از مجموعه‌ای از منابع و بارها که می‌توانند بصورت متصل به شبکه و خودگردان (جزیره‌ای) به عملکرد خود ادامه دهند. [۱ و ۲].

ریزشبه‌ها یا به صورت dc طراحی می‌شوند یا به صورت ac. استفاده از ریزشبه dc با توجه به افزایش روز افزون ضریب نفوذ منابع و بارهای dc و عدم نیاز به تبدیلات چندباره توان، افزایش راندمان سیستم توزیع را در پی خواهد داشت. در مقابل کماکان بخش عمده‌ای از بارها از نوع ac بوده و منابع ac نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. طی این شرایط استفاده از ریزشبه‌های هایبرید که ترکیبی از نوع ac و dc هستند پیشنهاد شده‌اند. در این ساختار بارهای dc و



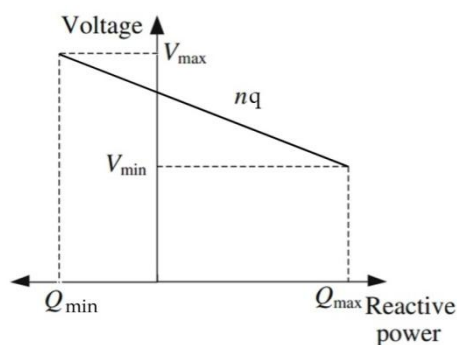
شکل (۱) یک ریزشبه هایبرید

مشخصه‌های اُفتی مورد استفاده در ریزشکه‌های ac خطی با شیب منفی در صفحه‌ی P-f (توان اکتیو - فرکانس) و Q-V (توان راکتیو - ولتاژ) می‌باشند [۳]. این مشخصه‌ها با علامت اختصاری Pfd/QVD^۴ نشان داده می‌شوند. شکل (۳) و (۴) این مشخصه‌ها را نشان می‌دهند. وقتی منبع توانی تولید نمی‌کند فرکانس آن حداکثر و در حالت حداکثر تولید، فرکانس آن حداقل می‌باشد. معادله‌ی خط Pfd به صورت رابطه (۲) است.



شکل (۳) مشخصه اُفتی PFD

$$f = f_{\max} - mp.P, \quad mp = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{P_{\max}} \quad (2)$$



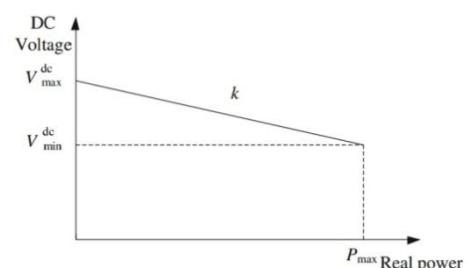
شکل (۴) مشخصه اُفتی QVD

با تعیین مقادیر حداقل و حداکثر ولتاژ، معادله خط مشخصه QVD به صورت رابطه (۳) بیان می‌شود [۵].

فراهم کند. کنترل کننده منابع به تمهیدی به منظور تقسیم مناسب بار بدون ارتباط مخبراتی با سایر منابع نیاز دارد. به این منظور از مشخصه‌های اُفتی استفاده می‌شود. در ریزشکه‌های هابیرید تقسیم توان می‌بایست به دو ریزشکه تعمیم داده شود. این عملکرد از طریق تبادل توان اکتیو توسط کانورتر واسطه فراهم می‌شود. طی ساختار کنترل غیر متمرکز که در این مقاله در نظر گرفته شده است، کانورتر واسطه با اندازه گیری کمیت های محلی میزان مطلوب تبادل توان اکتیو خود را مشخص می‌کند [۳].

۲-۱- مشخصه اُفتی برای منابع انرژی پراکنده dc

تقسیم بار بین منابع انرژی پراکنده در یک ریزشکه dc با یک مشخصه اُفتی بصورت یک خط با شیب منفی در صفحه P-V (توان - ولتاژ) قابل پیاده سازی است. این مشخصه با علامت اختصاری PVD^۳ نشان داده می‌شود [۴]. شکل (۲) این مشخصه اُفتی را نشان می‌دهد. وقتی منبع توانی تولید نمی‌کند ولتاژ آن حداکثر و در حالت حداکثر تولید توان، ولتاژ آن حداقل می‌باشد. معادله‌ی این خط به صورت رابطه (۱) است.



شکل (۲) مشخصه اُفتی PVD

$$V^{dc} = V_{\max}^{dc} - k.P, \quad k = \frac{V_{\max}^{dc} - V_{\min}^{dc}}{P_{\max}} \quad (1)$$

۲-۲- مشخصه اُفتی برای منابع انرژی پراکنده ac

^۴ -Power - Frequency Droop/Reactive power - Voltage Droop

^۳ - Power -Voltage Droop

روابط (۴) و (۵) نحوه محاسبه پریونیت ولتاژ در سمت dc و فرکانس در سمت ac کانورتر واسطه را نشان می‌دهند.

$$f^{pu} = \frac{f - \frac{f_{\max} + f_{\min}}{2}}{\frac{f_{\max} - f_{\min}}{2}} \quad (۴)$$

$$V_{dc}^{pu} = \frac{V - \frac{V_{\max} + V_{\min}}{2}}{\frac{V_{\max} - V_{\min}}{2}} \quad (۵)$$

قید برابری پریونیت ولتاژ سمت dc و پریونیت فرکانس سمت ac کانورتر واسطه، بصورت رابطه (۶) بیان می‌شود.

$$V_{dc}^{pu} - f^{pu} = 0 \quad (۶)$$

در شکل (۶) مشخصه‌های پریونیت ولتاژ dc و فرکانس در دو سمت کانورتر واسطه نشان داده شده است و همانطور که ملاحظه می‌شود نقطه کار حالت دائم نیز مشخص گردیده است.

با توجه به اینکه توان راکتیو فقط در سمت ac وجود دارد، کنترل آن از پیچیدگی خاصی برخوردار نیست و کاملاً شبیه یک ریزشبه ac است. در این مقاله عدم مشارکت کانورتر واسطه در پوشش دادن تقاضای توان راکتیو سمت ac در نظر گرفته شده است.

۳- ارائه روش انجام پخش بار در ریزشبه‌های

هایبرید

در استخراج معادلات توصیف کننده یک ریزشبه هایبرید کلیه معادلات ریزشبه اعم از ریزشبه ac و ریزشبه dc را یکجا در نظر گرفته و یک دستگاه معادلات

$$V = V_0 - nq.Q, \quad nq = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{2Q_{\max}} \quad (۳)$$

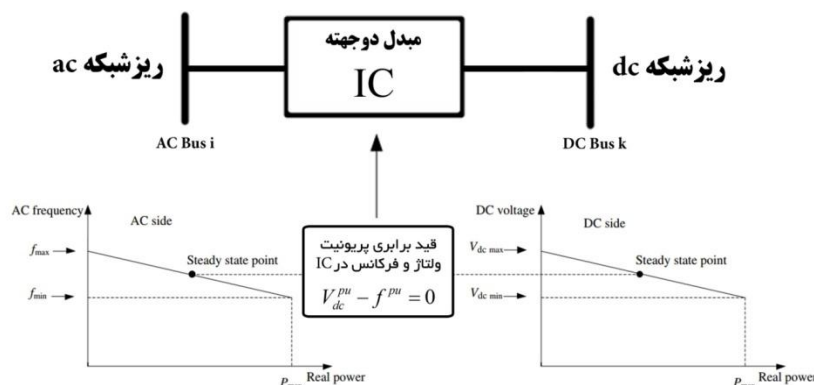
۲-۳- ساختار کنترل کانورتر واسطه (IC)

وظیفه کانورتر واسطه تبادل توان اکتیو بین دو ریزشبه است. این تبادل توان می‌بایست چنان انجام شود که تقسیم تقاضای توان اکتیو کل ریزشبه هایبرید، بین منابع چه ac و چه dc فراهم شود. این رویکرد، تقسیم توان تناسبی سرتاسر ریزشبه هایبرید نامیده می‌شود. به منظور تحقق آن از عکس‌العمل شبکه‌های dc و ac طی عملکرد مشخصه‌های افی منابع آنها استفاده می‌شود. بواسطه عملکرد مشخصه های Pfd در منابع ac میزان افت فرکانس در شبکه ac شاخصی از میزان نسبی تولید منابع ac می‌باشد.

بصورت مشابه بواسطه عملکرد مشخصه های PVD در منابع dc میزان افت ولتاژ در شبکه dc شاخصی از میزان نسبی تولید منابع dc می‌باشد. حال جهت تحقق تقسیم توان مطلوب در ریزشبه‌ی هایبرید، کافی است میزان نسبی افت فرکانس در شبکه ac و میزان نسبی افت ولتاژ در شبکه dc برابر شوند. در مراجع متعددی از جمله [۶ تا ۸] اختلاف این مقادیر نسبی که پریونیت ولتاژ در سمت dc و پریونیت فرکانس در سمت ac نامیده شده اند به یک کنترلر PI اعمال شده تا توان اکتیو تبدیلی مرجع کانورتر واسطه مشخص شود. شکل (۵) کانورتر واسطه را نشان داده است.



شکل (۵) کانورتر واسطه



شکل (۶) نقطه کار کانورتر واسطه (IC)

یک مجهول اضافی ($P_{convert}$) وارد مسئله پخش بار می‌شود. در نتیجه تعداد کل مجهولات برابر است با $(2 \times n) + m + 1$.

از سویی دیگر باید تعداد معادلاتی را که می‌توانیم داشته باشیم مورد بررسی قرار دهیم. در سمت ac به ازای هر باس دو معادله خواهیم داشت. در صورتی که باس مورد نظر باس مصرف باشد معادلات توان را مطابق روابط (۸) و (۹) باید بکار ببریم و اگر باس مورد نظر باس تولید باشد معادلات توان را در ترکیب با مشخصه‌های افتی مطابق روابط (۱۰) و (۱۱) می‌نویسیم. بنابراین تعداد کل معادلات در سمت ac برابر با $(2 \times n)$ خواهد بود.

$$P_i = \sum_{j=1}^N |\bar{V}_i \bar{V}_j Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (۸)$$

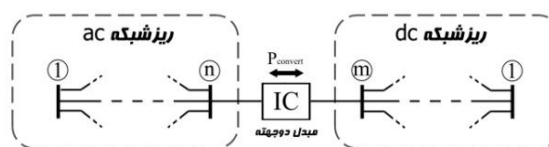
$$Q_i = -\sum_{j=1}^N |\bar{V}_i \bar{V}_j Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (۹)$$

$$f_{0i} = f + m_{pi} \times \sum_{j=1}^N |\bar{V}_i \bar{V}_j Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (۱۰)$$

$$V_{0i} = |\bar{V}_i| - n_{qi} \times \sum_{j=1}^N |\bar{V}_i \bar{V}_j Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (۱۱)$$

در صورتی که معادلات روابط (۸) و (۱۰) برای باس متصل به کانورتر واسطه در نظر گرفته شوند، باید آنها را با اضافه نمودن ترم $P_{convert}$ بشکل روابط (۱۲) و (۱۳) بکار ببریم.

به روش نیوتن-رافسون تشکیل داده می‌شود. حال یک ریزشبهک هابیرید با تعداد n باس برای ریزشبهک ac و تعداد m باس برای ریزشبهک dc مطابق آنچه در شکل (۷) نمایش داده شده است در نظر گرفته می‌شود. ماتریس ادمیتانس این ریزشبهک در رابطه (۷) نشان داده شده است.



شکل (۷) یک شبکه هابیرید با تعداد n باس برای ریزشبهک ac و تعداد m باس برای ریزشبهک dc

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} [Y_{bus}^{ac}]_{n \times n} & [0] \\ [0] & [Y_{bus}^{dc}]_{m \times m} \end{bmatrix} \quad (۷)$$

در سمت ac فرکانس (f)، اندازه ولتاژ در تمامی باس‌ها و زاویه ولتاژ نیز در تمامی باس‌ها بجز باس شماره ۱ مجهول است. بنابراین تعداد مجهولات برای انجام پخش بار در سمت ac برابر با $(2 \times n) - 1 + 1 = 2 \times n$ خواهد بود. در سمت dc نیز ولتاژ در تمامی باس‌ها مجهول است. بنابراین تعداد مجهولات برای انجام پخش بار در سمت dc برابر با m خواهد بود. این مجهولات مربوط به مسئله پخش بار در ریزشبهک‌های ac و dc مجزا نیز می‌باشند اما در مورد ریزشبهک هابیرید توان تبدیلی توسط کانورتر واسطه به عنوان

$P_{convert}$ مثبت بود، جهت شارش توان در کانورتر واسطه مطابق جهت فرض شده در معادلات و از ریزشبه ac به سمت ریزشبه dc است و در صورتی که مقدار عدد حاصل از $P_{convert}$ ، با علامت منفی بدست آمد، آنگاه جهت شارش توان در کانورتر واسطه از ریزشبه dc به سمت ریزشبه ac است.

تا اینجا $(2 \times n)$ معادله در سمت ریزشبه ac و m معادله در سمت ریزشبه dc داریم. بنابراین در صورت وجود یک معادله دیگر تعداد معادلات و مجهولات برابر شده و صورت مسئله پخش بار کامل می‌شود. معادله آخر مربوط می‌شود به قید برابری پریونیت فرکانس و پریونیت ولتاژ dc در دو سمت کانورتر واسطه که در رابطه (۶) قبلاً بیان گردید. بنابراین معادله آخر را با جایگذاری روابط (۴) و (۵) در رابطه (۶) بصورت رابطه (۱۸) می‌توان نمایش داد.

$$\frac{V_{dc} - \frac{V_{max} + V_{min}}{2}}{\frac{V_{max} - V_{min}}{2}} - \frac{f - \frac{f_{max} + f_{min}}{2}}{\frac{f_{max} - f_{min}}{2}} = 0 \quad (18)$$

در ادامه روابط زیر را تعریف می‌کنیم.

$$\Delta V = V_{max} - V_{min} \quad (19)$$

$$\Delta f = f_{max} - f_{min} \quad (20)$$

در روابط (۱۹) و (۲۰) مقادیر ΔV و Δf در هر ریزشبه کمیت‌های مشخصی هستند که با توجه به مشخصه‌های افنی منابع تعیین می‌گردند. با جایگذاری روابط (۱۹) و (۲۰) در رابطه (۱۸) و ساده سازی به رابطه (۲۱) می‌رسیم.

$$V_{dc} - V_{max} - \frac{\Delta V}{\Delta f} f + \frac{\Delta V}{\Delta f} f_{max} = 0 \quad (21)$$

$$P_i = \left[\sum_{j=1}^N |\bar{V}_i \bar{V}_j Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \right] + P_{convert} \quad (12)$$

$$f_{oi} = f + \left[m_{pi} \times \sum_{j=1}^N |\bar{V}_i \bar{V}_j Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \right] + P_{convert} \quad (13)$$

در سمت dc نیز به ازای هر باس یک معادله داریم. در صورتی که باس مورد نظر باس مصرف باشد، رابطه توان در آن باس مطابق رابطه (۱۴) خواهد بود. و در صورتی که باس مورد نظر باس تولید باشد معادله توان در آن باس در ترکیب با مشخصه افنی مطابق رابطه (۱۵) بکار گرفته می‌شود.

$$P_i = V_i \sum_{j=1}^n V_j \times Y_{dc,ij} \quad (14)$$

$$V_{i0} = V_i + dv \left(V_i \sum_{j=1}^n V_j \times Y_{dc,ij} \right) \quad (15)$$

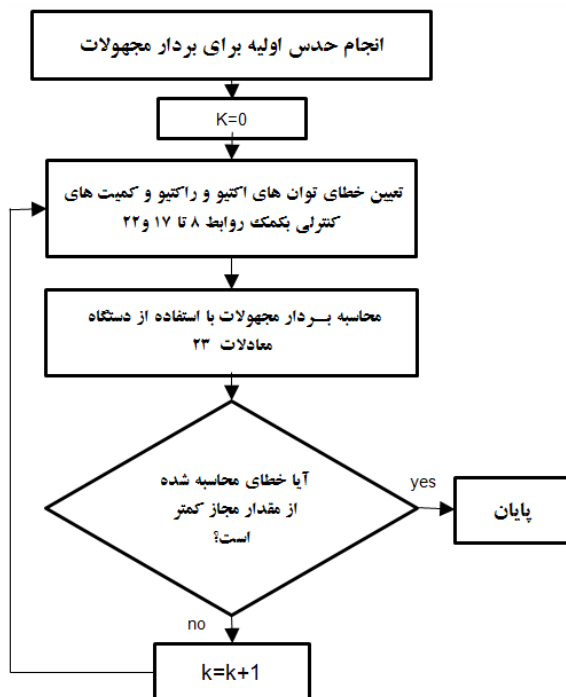
در صورتی که معادلات روابط (۱۴) یا (۱۵) برای باس متصل به کانورتر واسطه (IC) در نظر گرفته شوند، باید آنها را با اضافه نمودن ترم $-P_{convert}$ بشکل روابط (۱۶) و (۱۷) بکار ببریم. بنابراین تعداد معادلات در ریزشبه dc با m باس، برابر با m معادله خواهد بود.

$$P_i = \left[V_i \sum_{j=1}^n V_j \times Y_{dc,ij} \right] - P_{convert} \quad (16)$$

$$V_{i0} = V_i + dv \left(V_i \sum_{j=1}^n V_j \times Y_{dc,ij} \right) - P_{convert} \quad (17)$$

لازم به توضیح است که $P_{convert}$ در معادلات ریزشبه ac با علامت مثبت و در معادلات ریزشبه dc با علامت منفی آورده شده است. بنابراین جهت شارش توان در کانورتر واسطه از ریزشبه ac به سمت ریزشبه dc در نظر گرفته شده است. با این توضیح نتیجه می‌گیریم در نتایج بدست آمده از پخش بار اگر علامت عدد حاصل برای

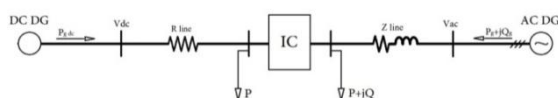
مشخص و خطای آنها محاسبه می شود. در ادامه با استفاده از دستگاه معادلات (۲۳) خطا در ولتاژ باس ها محاسبه شده و تکرار اول به پایان می رسد. این روند حل در یک فرآیند تکرار قرار گرفته و تا کوچکتر شدن خطای بردار مجهولات از مقدار مجاز ادامه می یابد.



شکل (۸) فلوچارت برنامه پخش بار

۴- انجام پخش بار برای ریزشکته تست

روش ارائه شده برای انجام پخش بار در ریزشکته هایبرید برای یک ریزشکته تست در نرم افزار MATLAB کدنویسی شده و نتایج آن با نتایج شبیه سازی زمانی در محیط نرم افزار PSIM مقایسه شده است. در شکل (۹) ریزشکته تست نشان داده شده است.



شکل (۹) ریزشکته تست

در نهایت معادله (۲۱) را به صورت معادله (۲۲) بیان می کنیم. در رابطه (۲۲) مقدار خطای اختلاف پریونیت ولتاژ سمت dc و پریونیت فرکانس، در دو سمت کانورتر واسطه می باشد که توسط یک کنترل کننده PI در حالت ماندگار صفر خواهد شد.

$$e = V_{dc} - V_{max} - \frac{\Delta V}{\Delta f} f + \frac{\Delta V}{\Delta f} f_{max} \quad (22)$$

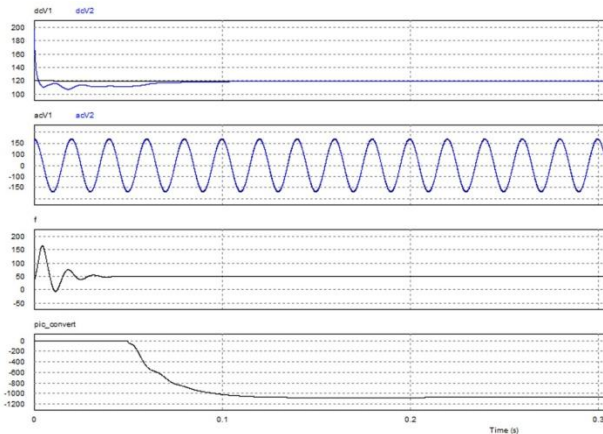
با احتساب معادله (۲۲) به تعداد برابری از معادلات و مجهولات دست یافتیم. بنابراین می توانیم یک دستگاه معادلات غیر خطی تشکیل داده و به روش نیوتن-رافسون آن را حل کنیم. دستگاه معادلات به روش نیوتن-رافسون برای ریزشکته هایبرید در رابطه (۲۳) بیان شده است. در پیوست این مقاله (بخش ۷) جدول (۳) شرح و ابعاد زیر ماتریس های دستگاه معادلات (۲۳) آورده شده است.

ماتریس ژاکوبین (J) نیز با دیفرانسیل گیری از روابط (۸) تا (۱۷) و (۲۲) کامل شده و دارای ابعاد $(2n+m+1) \times (2n+m+1)$ می باشد.

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P^{ac}}{\partial \delta} & \frac{\partial P^{ac}}{\partial |V^{ac}|} & \frac{\partial P^{ac}}{\partial V^{dc}} & \frac{\partial P^{ac}}{\partial f} & \frac{\partial P^{ac}}{\partial P_{conv}} \\ \frac{\partial Q^{ac}}{\partial \delta} & \frac{\partial Q^{ac}}{\partial |V^{ac}|} & \frac{\partial Q^{ac}}{\partial V^{dc}} & \frac{\partial Q^{ac}}{\partial f} & \frac{\partial Q^{ac}}{\partial P_{conv}} \\ \frac{\partial f_0^{ac}}{\partial \delta} & \frac{\partial f_0^{ac}}{\partial |V^{ac}|} & \frac{\partial f_0^{ac}}{\partial V^{dc}} & \frac{\partial f_0^{ac}}{\partial f} & \frac{\partial f_0^{ac}}{\partial P_{conv}} \\ \frac{\partial V_0^{ac}}{\partial \delta} & \frac{\partial V_0^{ac}}{\partial |V^{ac}|} & \frac{\partial V_0^{ac}}{\partial V^{dc}} & \frac{\partial V_0^{ac}}{\partial f} & \frac{\partial V_0^{ac}}{\partial P_{conv}} \\ \frac{\partial P^{dc}}{\partial \delta} & \frac{\partial P^{dc}}{\partial |V^{ac}|} & \frac{\partial P^{dc}}{\partial V^{dc}} & \frac{\partial P^{dc}}{\partial f} & \frac{\partial P^{dc}}{\partial P_{conv}} \\ \frac{\partial V_0^{dc}}{\partial \delta} & \frac{\partial V_0^{dc}}{\partial |V^{ac}|} & \frac{\partial V_0^{dc}}{\partial V^{dc}} & \frac{\partial V_0^{dc}}{\partial f} & \frac{\partial V_0^{dc}}{\partial P_{conv}} \\ \frac{\partial e}{\partial \delta} & \frac{\partial e}{\partial |V^{ac}|} & \frac{\partial e}{\partial V^{dc}} & \frac{\partial e}{\partial f} & \frac{\partial e}{\partial P_{conv}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V^{ac}| \\ \Delta V^{dc} \\ \Delta f \\ \Delta P_{conv} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P^{ac} \\ \Delta Q^{ac} \\ \Delta f_0^{ac} \\ \Delta V_0^{ac} \\ \Delta P^{dc} \\ \Delta V_0^{dc} \\ \Delta e \end{bmatrix} \quad (23)$$

حل مسئله پخش بار مطابق فلوچارت شکل (۸) با انجام حدس اولیه برای بردار مجهولات، آغاز می شود. سپس با استفاده از روابط (۸) تا (۱۷) و (۲۲) مقادیر کمیت های

در شکل (۱۱) منحنی تغییرات ولتاژ باس‌های dc، ولتاژ باس‌های ac، فرکانس ریزشکته ac و توان تبادل شده از طریق کانورتر واسطه (IC) حاصل از شبیه سازی زمانی را نشان می‌دهد. جدول (۲) نتایج پخش بار و شبیه سازی زمانی در ریزشکته هایبرید تست را نشان می‌دهد. انطباق مطلوب این نتایج، حاکی از صحت روشهای ارائه شده می‌باشد.



شکل (۱۱) شکل موج‌های حاصل از شبیه سازی زمانی

جدول (۱) مشخصات ریزشکته تست

مشخصات	عنوان	
$V_n = 120 \text{ V}$ $P_n = 5000 \text{ W}$	داده‌های ریزمنبع dc	۱
$V_n = 120 \text{ V}$ $P_n = 15000 \text{ W}$ $Q_n = 11250 \text{ VAR}$	داده‌های ریزمنبع ac	۲
$V = V_0 - \frac{dV}{P_n} \times P$	مشخصه افی ریزمنبع dc	۳
$f = f_0 + df - \frac{2df}{P} \times P$, $V = V_0 - \frac{dV^n}{Q_n} \times Q$	مشخصه افی ریزمنبع ac	۴
$R_{line} = 0.8802 \Omega$ $Z_{line} = 0.3912 + 0.272i \Omega$	کابل‌ها	۵
$RL_{dc} = 12 \Omega$ $RL_{ac} = 18 + 5i \Omega$	بارها	۶

۵- شبیه سازی و مقایسه نتایج

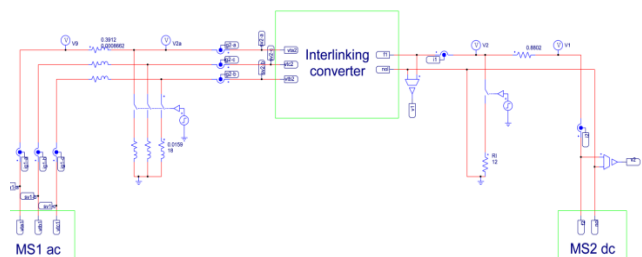
جدول (۲) نتایج پخش بار و شبیه سازی زمانی ریزشکته تست

شبه سازی زمانی	پخش بار	
0.9998	0.9996	Vdc1 (در واحد)
0.9927	0.9927	Vdc2 (در واحد)
0.9988	0.9987	Vac1 (در واحد)
0.9447	0.9447	Vac2 (در واحد)
-0.0285	-0.0294	delta2 (درجه)
50.0027	50.0269	f (HZ)
-1.0682e+3	-1.0709e+3	Pconvert (وات)

۶- نتیجه گیری

تحلیل مسئله پخش بار یک سیستم قدرت از ابتدایی ترین و در عین حال مهم ترین مواردی است که جهت تایید

به منظور اطمینان از صحت روشهای پخش بار انجام شده، نتایج برنامه پخش بار را با شبیه سازی زمانی که در محیط PSIM انجام شده است مقایسه می‌کنیم. شکل شبیه سازی زمانی در محیط PSIM در شکل (۱۰) نشان داده شده است. لازم به ذکر است این شبیه سازی به صورت کامل و با مدل کردن سیستم کنترلی انجام شده است.



شکل (۱۰) شبیه سازی ریزشکته تست در محیط psim

مقایسه گردید. مطابقت نتایج تحلیل ارائه شده با نتایج شبیه سازی زمانی صحت روش پیشنهادی را نشان داد.

۷- پیوست

در این بخش در جدول (۳) شرح و ابعاد زیر ماتریس های دستگاه معادلات (۲۳) آورده شده است.

عملکرد مطلوب این سیستم می بایست انجام شود. با ظهور ریزشبه های ac و dc اخیرا ریزشبه هایبرید به عنوان نوع جدیدی از سیستم های قدرت مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله فرمول بندی و نحوه تحلیل مسئله پخش بار در حالت جزیره ای این نوع از ریزشبه ها ارائه گردید. جهت تایید صحت روش پیشنهادی، این تحلیل مسئله پخش بار برای ریزشبه تست بوسیله نرم افزار MATLAB کد نویسی شده و نتایج حاصل از آن با نتایج شبیه سازی زمانی

جدول (۳) شرح و ابعاد زیر ماتریس های دستگاه معادلات (۲۳)

ابعاد	شرح	زیر ماتریس	
$2n \times 1$	ΔP^{ac} مقدار خطای توان اکتیو در باس های مصرف ریزشبه ac ΔQ^{ac} مقدار خطای توان راکتیو در باس های مصرف ریزشبه ac Δf_0^{ac} مقدار خطا در مقادیر ایده آل فرکانس در باس های تولید ریزشبه ac ΔV_0^{ac} مقدار خطا در مقادیر ایده آل ولتاژ در باس های تولید ریزشبه ac	$\begin{bmatrix} \Delta P^{ac} \\ \Delta Q^{ac} \\ \Delta f_0^{ac} \\ \Delta V_0^{ac} \end{bmatrix}$	۱
$m \times 1$	ΔP^{dc} مقدار خطای توان در باس های مصرف ریزشبه dc ΔV_0^{dc} مقدار خطا در مقادیر ایده آل ولتاژ در باس های تولید ریزشبه dc	$\begin{bmatrix} \Delta P^{dc} \\ \Delta V_0^{dc} \end{bmatrix}$	۲
1×1	مقدار خطای انحراف اختلاف پریونیت فرکانس و ولتاژ دو سمت کانورتر واسطه از صفر	$[\Delta e]$	۳
$(n-1) \times 1$	مقدار خطای زاویه ولتاژ تمامی باس ها در ریزشبه ac بجز باسی که مقدار زاویه ولتاژ آن صفر است	$\Delta \delta$	۴
$n \times 1$	مقدار خطا در اندازه فازور ولتاژها در ریزشبه ac	$\Delta V^{ac} $	۵
$m \times 1$	مقدار خطا در ولتاژها در ریزشبه dc	ΔV^{dc}	۶
1×1	مقدار خطا در فرکانس سیستم	Δf	۷
1×1	مقدار خطا در توان تبادل شده از طریق کانورتر واسطه	ΔP_{conv}	۸

۸- مراجع

- [1] Lasseter. R.H, 2002, "Microgrids", IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Vol.1, pp 305-308.
- [2] Lasseter.R.H and Paigi.P , 2004, "Microgrid: a conceptual solution", Power Electronics Specialists Conference", PESC 04, IEEE 35th Annual, Vol.6, pp. 4285-4290.
- [3] Loh.P.C and Ding.Li and Kang Chai.Y and Blaabjerg. F, 2013 , "Autonomous Operation of Hybrid Microgrid With AC and DC Subgrids," IEEE Trans. Power Electronic, vol. 28, no. 5, pp. 2214 – 2223.
- [4] Chendan.L and Chaudhary.S.K and Dragicevic.T and Vasquez.J.C and Guerrero.J.M , 2014 , "Power flow analysis for DC voltage droop controlled DC microgrids" , IEEE , Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD), 2014 11th International , 1 – 5.
- [5] Liu.Y.H and Wu.Z.Q and Lin.S.J and Brandon.N.P , 2009, "Application of the Power Flow Calculation Method to Islanding Micro Grids" , Sustainable Power Generation and Supply, SUPERGEN '09. International Conference on, pp. 1-6, 6-7.
- [6] DING.G and GAO.f and ZHANG.S and Chiang LOH.P and BLAABJERG.F , 2014 , "Control of hybrid AC/DC microgrid under islanding operational conditions", springer-Journal of Modern Power Systems and Clean Energy Volume 2, Issue 3 , pp 223-232 .
- [7] Hema.V.K and Dhanalakshmi.R, 2014, "Operation of hybrid AC-DC microgrid with an interlinking converter " , Advanced Communication Control and Computing Technologies (ICACCCT) - 2014 International Conference on, 38 – 42.
- [8] Hema.V.K and Dhanalakshmi.R , 2013 , "Power sharing of an autonomous hybrid microgrid with an interlinking converter" , Sustainable Energy and Intelligent Systems (SEISCON 2013), IET Chennai Fourth International Conference on , 481 – 485.