تعیین حداکثر ظرفیت قابل نصب DG در یک شبکه توزیع

هادی ملکی حسن آبادی[۱]، حامد دشتی[۲]

[۱] **دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق- سیستم های قدرت، دانشگاه شهاب دانش قم، Email: h.m.world70@Gmail.com**

[۲] **استادیار دانشکده مهندسی برق ، دانشگاه شهاب دانش قم، Email: h.dashti@ut.ac.ir**

خلاصه

تولیدات پراکنده اثرات مختلفی بر شبکه توزیع می‌گذارد که می‌توان به پخش بار، برنامه ریزی شبکه توزیع، کیفیت ولتاژ، حفاظت شبکه، تلفات شبکه، قابلیت اطمینان سیستم و پروفیل ولتاژ اشاره نمود. در واقع می‌توان اثرات حضور منابع تولیدات پراکنده در شبکه های شعاعی را در قالب چند مورد بیان کرد:

۱) اثر بر روی محاسبات پخش بار: با اتصال منابع تولیدات پراکنده انجام محاسبات پخش بار به صورت دقیق، امری پیچیده است. بعضی از روش های مرسوم برای محاسبه پخش بار کارآیی کمتری را در حضور منبع تولیدات پراکنده دارند.

۲) اثر بر روی تلفات توان

۳) اثر بر روی ولتاژ باس ها

حضور تولید پراکنده (DG) مزایای قابل توجهی از نظر فنی و اقتصادی دارد. با این وجود، تنظیمات شعاعی فیدرهای توزیع را تغییر می دهد. در نتیجه ممکن است باعث عدم هماهنگی با سیستم حفاظت موجود شود که در اصل بر اساس پیکربندی شعاعی تنظیم می شود. علاوه بر این، سطح نفوذ بالا DG ممکن است باعث کاهش میزان فیدر و موجب تولید ولتاژ خارج از محدوده مورد نیاز شود. در این مقاله روشی برای تعیین حداکثر ظرفیت قابل نصب DG در یک شبکه توزیع مطرح می شود.

کلمات کلیدی: تولید پراکنده، شبکه توزیع، حداکثر ظرفیت، حفاظت، جریان خطا

۱. مقدمه

در دهه های اخیر تجدید ساختار صنعت برق و همچنین خصوصی سازی این صنعت مطرح و در برخی کشورها اعمال گشته است. طی این مدت به خاطر بالا بردن بازده بهره برداری و تشویق سرمایه گذاران صنعت برق دستخوش تغییرات اساسی از لحاظ مدیریت و مالکیت گردیده است به طوریکه برای ایجاد فضای رقابتی مناسب بخش های مختلف آن از جمله تولید انتقال و توزیع از هم مستقل گردیده اند. در محیط تجدید ساختار یافته صنعت برق متقاعد نمودن بازیگران بازار به سرمایه گذاری در پروژه های چندین میلیارد دلاری تولید و انتقال توان آسان نیست. این تغییر و تحولات از یک طرف و عواملی همچون آلودگی محیط زیست، مشکلات احداث خطوط انتقال جدید و پیشرفت فناوری در زمینه اقتصادی نمودن ساخت واحدهای تولیدی در مقیاس کوچک در مقایسه با واحدهای تولیدی بزرگ از طرف دیگر باعث افزایش استفاده از واحدهای تولیدی کوچک تحت عنوان "تولیدات پراکنده"[۱] گردیده است. اکثر تکنولوژی های تولید پراکنده در جنبه های متعدد مانند عملکرد اندازه و قابلیت گسترش، انعطاف پذیر هستند. ضمن اینکه استفاده از تولید پراکنده باعث یک عکس العمل قابل انعطاف به مقداردهی قیمت برق میگردد. تعاریف مختلفی برای تولیدات پراکنده بکار رفته است ولی تعریف جامع و بدون محدودیت آن عبارت است از: منبع انرژی الکتریکی که مستقیماً به شبکه توزیع و یا سمت مصرف کننده وصل می گردد. مقادیر نامی این تولیدات متفاوت است ولی معمولاً ظرفیت تولید آنها از چند کیلووات تا حدود ۱۰ مگاوات می باشد. این واحدها در پست ها و در فیدرهای توزیع در نزدیکی بارها قرار می گیرند.

تولید پراکنده انرژی اصطلاح جدیدی نیست. از آغازین روزهایی که بشر برای رفع نیاز خود به انواع مختلف انرژی نیاز داشت تولید پراکنده شکل گرفته است، چرا که این انرژی عملاً در نزدیکی محل مصرف آن تولید می شود. تولیدات پراکنده به صورت محلی مورد استفاده قرار میگیرند. با توجه به این که این تولیدات نزدیک به مراکز مصرف می باشند نیازی به انتقال انرژی الکتریکی خروجی آنها در مسافت های طولانی وجود ندارد. هرچه مصرف کننده به تولید کننده نزیک تر باشد هزینه تأمین انرژی الکتریکی نیز کاهش خواهد یافت. با توجه به ایجاد رقابت وتجدید ساختار در

[1] Distributed Generation

سیستم های قدرت انتظار می رود تولیدات پراکنده نقش فزاینده ای درآینده این سیستمهای داشته باشند به طوریکه تحقیقات انجام شده نشان میدهد تا سال ۲۰۱۵ میلادی بیش از ۲۵ درصد توان الکتریکی را تولیدات پراکنده تشکیل خواهند داد.

برای ساخت میکروگریدها می توان از تکنولوژی های: پیل سوختی، میکروتوربین ها، انرژی زمین گرمایی، بیومس، سیستم های مبدل انرژی باد، سیستم های فتوولتائیک و ... بهره برد که در این راستا استفاده از سیستم های فتوولتائیک به دلیل انرژی نامحدود خورشید رواج بیشتری یافته است. قرن ها پیش تکنولوژی استفاده از انرژی باد اولین گام های خود را با ایجاد آسیاب های بادی محور عمودی در ایران در حدود ۲۰۰ سال قبل از میلاد مسیح برداشت. پس از آن آسیاب های بادی محور افقی در هلند و حوزه دریای مدیترانه در سالهای ۱۳۰۰ تا ۱۸۷۵ میلادی مورد استفاده قرار می گرفتند. در قرن نوزدهم و در بین سال های ۱۸۵۰ تا ۱۹۷۰ بیش از ۶ میلیون ماشین کوچک بادی جهت پمپاژ آب در ایالات متحده امریکا استفاده می شد. اولین توربین بادی که از آن برای تولید برق استفاده می شد در سال ۱۸۸۸ میلادی در ایالت اوهایو آمریکا با ظرفیت ۲۵ کیلووات نصب شد. در دوره بین سال های ۱۹۳۵ تا ۱۹۷۰ میلادی تلاش هایی در کشورهای دانمارک، فرانسه، آلمان و انگلستان برای ایجاد مزارع بادی صورت پذیرفت و نشان داده شد که استفاده از مزارع بادی در مقیاس های بزرگ می تواند مقرون به صرفه باشد. پس از آن تکنولوژی توربین های بادی و مزارع بادی رشد گسترده ای را به همراه داشت و در ۲۰ سال اخیر انرژی باد به عنوان اصلی ترین انرژی تجدیدپذیر توجه همه ی کشورهای دنیا را به خود جلب کرده است. ظرفیت کل نیروگاه های بادی نصب شده در جهان از سال ۱۹۹۶ تا سال ۲۰۱۰ رشدی از حدود ۶ گیگاوات در سال ۱۹۹۶ به میزان ۱۹۴ گیگاوات در سال ۲۰۱۰ افزایش پیدا کرده است.

۲. بیان مسأله

تلفات شبکه توزیع در مقایسه با شبکه‌های انتقال بسیار بالا بوده که این مسأله باعث ایجاد افت ولتاژ بالاخص در انتهای فیدرهای طولانی می‌شود. افت شدید ولتاژ می‌تواند باعث افزایش جریان بار در اکثر بارهای صنعتی شده و باعث افت ولتاژ بیشتر گردد. یکی از موثرترین روش های بهبود حاشیه امنیت، افزایش میزان پایداری ولتاژ شبکه می باشد. بنابراین در میان مشکلات موجود در سیستم توزیع، توجه به کاهش تلفات، بهبود میزان بارگذاری خطوط و افزایش پایداری ولتاژ از اهمیت بالایی برخوردار است.

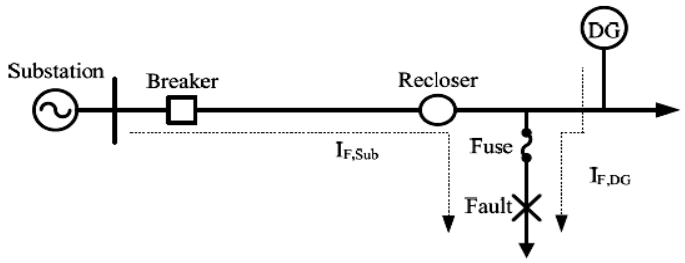
استفاده از منابع تولیدات پراکنده تا حد زیادی این مشکلات را بهبود می‌بخشد. امروزه با استقبال عمومی نسبت به احداث نیروگاه‌های کوچک (DG)، منابعی در دسترس می‌باشد که به سیستم توزیع متصل شده و برق محلی را برای مصرف کننده بار تامین می نمایند. DG ها از آخرین تکنولوژی های مدرن برخوردار بوده که قابل اطمینان، و به اندازه کافی ساده هستند و می توانند با ژنراتورهای بزرگ در برخی نواحی رقابت نمایند. سیستم های DG می‌توانند باعث کاهش تلفات، بهبود پایداری و همچنین کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری در سیستم‌های انتقال و گسترش شبکه‌های توزیع گردند.

۳. تأثیر DG بر سیستم حفاظت توزیع

حضور DG در یک شبکه توزیع MV عموما پیکربندی شعاعی آن شبکه را تغییر می دهد. درنتیجه، هنگامی که یک خطا اتفاق می افتد، ممکن است در سیستم حفاظت فعلی باعث عدم هماهنگی شود. در این بخش احتمال عدم هماهنگی بین فیوز و ریکلوزر با توجه به موقعیت های مختلف DG مورد بررسی قرار می گیرد.

۳.۱. DG بعد از ریکلوزر

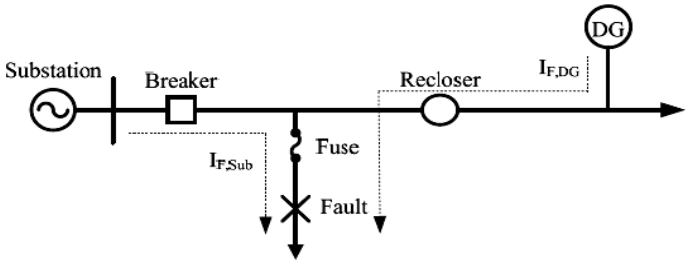
حالت اول: خطا بین DG و ریکلوزر



شکل ۱- خطا بین DG و ریکلوزر

اگر یک DG بعد از یک ریکلوزر نصب شده باشد و خطا در بین آنها اتفاق افتد(مطابق شکل۱) ریکلوزر و فیوز هر دو جریان خطا را درک می کنند. در این حالت چون فیوز در مسیر جریان های پست و DG قرار گرفته است، نسبت به ریکلوزر جریان خطای بیشتری را متحمل می شود. در این مورد، این احتمال وجود دارد که فیوز قبل از زمان کار تعریف شده توسط منحنی آن عمل کند. لذا ریکلوزر باید قبل از حداقل زمان ذوب(MMT)[۲] فیوز عمل کند که فیوز دچار آسیب نشود. در نتیجه، خطای گذرا ممکن است همان تاثیر را برای سیستم به عنوان خطای دائمی ایجاد کند.

حالت دوم: خطا قبل از DG و ریکلوزر

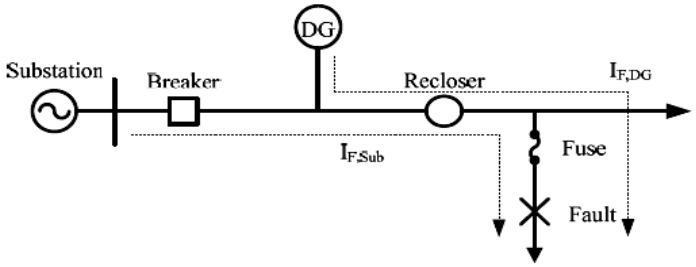


شکل ۲- خطا قبل از DG و ریکلوزر

اگر یک DG بعد از یک ریکلوزر نصب شده باشد و خطا قبل از آنها اتفاق افتد(مطابق شکل۲) این امکان وجود دارد که ریکلوزر با توجه به زمان کار تعریف شده توسط منحنی آن و قبل از اینکه فیوز بتواند خطا را از بین ببرد، عمل کند. این امر منجر به وقفه غیر ضروری موقت برای همه مشتریان خواهد شد، که باعث کاهش قابلیت اطمینان سیستم می شود.

۳.۲. DG قبل از ریکلوزر

حالت اول: خطا بعد از DG و ریکلوزر

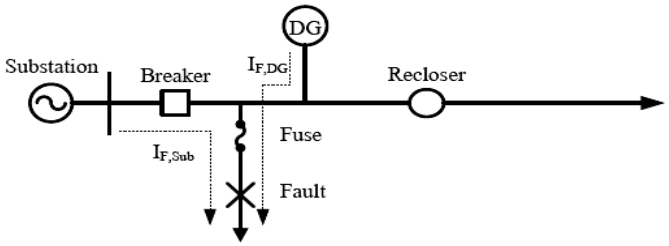


شکل ۳- خطا بعد از DG و ریکلوزر

اگر یک DG بین پست و ریکلوزر نصب شده باشد و خطا بعد از آنها اتفاق افتد(مطابق شکل۳) ریکلوزر و فیوز هر دو جریان خطای یکسانی را از خود عبور می دهند. با توجه به منحنی کار فیوز به طور کلی برای کار بر روی یک سطح خطای خاص طراحی شده، این احتمال وجود دارد که جریان خطای از DG باعث عدم هماهنگی بین فیوز و ریکلوزر شود و دوباره فقط یک خطای موقت در سیستم تاثیر گذار باشد.

[2] Minimum Melting Time

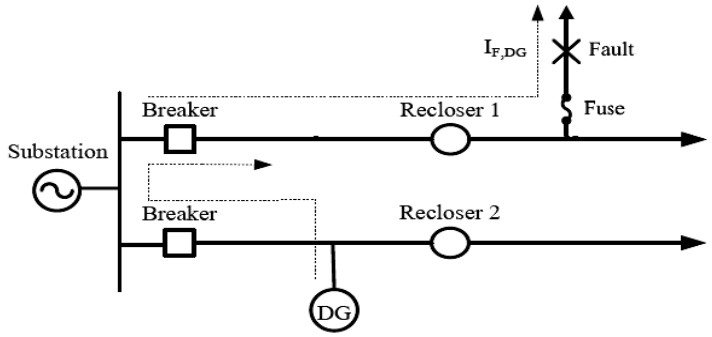
حالت دوم: خطا قبل از DG و ریکلوزر



شکل ٤- خطا قبل از DG و ریکلوزر

در این حالت(مطابق شکل۴) هیچگونه جریان خطایی از ریکلوزر عبور نمی کند و فیوز نقش اصلی حفاظت را بر عهده دارد.

۳.۳. خطا در یک فیدرغیر مرتبط و نزدیک به DG



شکل ۵ - خطا در یک فیدرغیر مرتبط و نزدیک به DG

در این حالت(مطابق شکل۵) اگر یک DG قبل از یک ریکلوزر و نزدیک به فیدر وقوع خطا نصب شده باشد ریکلوزر و فیوز هر دو یک جریان خطای بالاتری را در مقایسه با مورد بدون DG احساس می کنند. در این شرایط ولتاژ باس برای هر دو فیدر بطور کلی تغییر خواهد کرد و باعث ایجاد اختلال در ولتاژ مصرف کننده ها خواهد شد.

از همه تحقیقات فوق، تأثیر یک DG بر جریان های خطا بین فیوز و ریکلوزر در جدول ۱ خلاصه می شود.

جدول ۱- جریان خطا در حالت های ممکن

حالت	موقعیت DG	موقعیت خطا	جریان خطا
۳-۱ حالت اول	قبل از ریکلوزر	قبل از ریکلوزر	IR = IF,Sub IFuse = IF,Sub + IF,DG
۳-۱ حالت دوم	قبل از ریکلوزر	بعد از ریکلوزر	IR = IF,DG IFuse = IF,Sub + IF,DG
۳-۲ حالت اول	بعد از ریکلوزر	قبل از ریکلوزر	IR = IF,Sub + IF,DG IFuse = IF,Sub + IF,DG
۳-۲ حالت دوم	بعد از ریکلوزر	بعد از ریکلوزر	IR = 0 IFuse = IF,Sub + IF,DG
۳-۳	بعد از ریکلوزر	قبل از ریکلوزر(نزدیک به DG)	IR = IF,Sub + IF,DG IFuse = IF,Sub + IF,DG

IF,DG: سهم جریان خطای تولید پراکنده

IF,Sub: سهم جریان خطای پست

IR: جریان خطای عبوری از ریکلوزر

IFuse: جریان خطای عبوری از فیوز

۴. تابع هدف و محدودیت ها

۴.۱. تابع هدف

هدف این مقاله تعیین حداکثر ظرفیت مجاز DG در یک شبکه توزیع است که می توان آن را به صورت زیرنوشت:

$$Max(P_{DG}) = - Min(-P_{DG}) \quad (4.1)$$

که در آن P_{DG} توان خروجی DG بر حسب مگاوات می باشد.

۴.۲. محدودیت ها

محدودیت ها به سه دسته تقسیم می شوند:

۱) محدودیت ولتاژ

۲) محدودیت تلفات

۳) محدودیت هماهنگی حفاظت

۴.۲.۱. محدودیت ولتاژ

ولتاژ در هر نقطه بار باید در محدوده قابل قبول باشد که به صورت ۱/۰۵ p.u - ۰/۹۵ تعریف می شود. در این حالت می توان شرایط را به صورت زیر نوشت:

$$۰/۹۵ < Vi < ۱/۰۵ \quad (4.2)$$

که در آن Vi ولتاژ در باس i می باشد.

۴.۲.۲. محدودیت تلفات

$$L - L_{base} \leq ۰ \quad (4.3)$$

که در آن L تلفات کل خط سیستم با DG و L_{base} تلفات کل خط سیستم بدون DG می باشد.

۴.۲.۳. محدودیت هماهنگی حفاظت

با توجه به مواردی که اشاره شده است، اگر فیوز خطای بیشتری از جریان را متحمل شود یا به طور کلی، اگر فیوز جریان خطای بالاتر از یک مقدار خاصی را تحمل کند، خطای هماهنگی ممکن است رخ دهد. بنابراین، شرط عدم هماهنگی در فیوز این است که زمان کار منحنی ریکلوزر کمتر از حداقل زمان ذوب فیوز است.

$$T_{Rf}(I_{F,Sub}) - MMT_F(I_{F,Sub} + I_{F,DG}) \leq ۰ \quad (4.3)$$

که در آن $T_{Rf}(I_F)$ زمان کار منحنی ریکلوزر در I_F و $MMT_F(I_F)$ حداقل زمان ذوب فیوز در I_F می باشد.

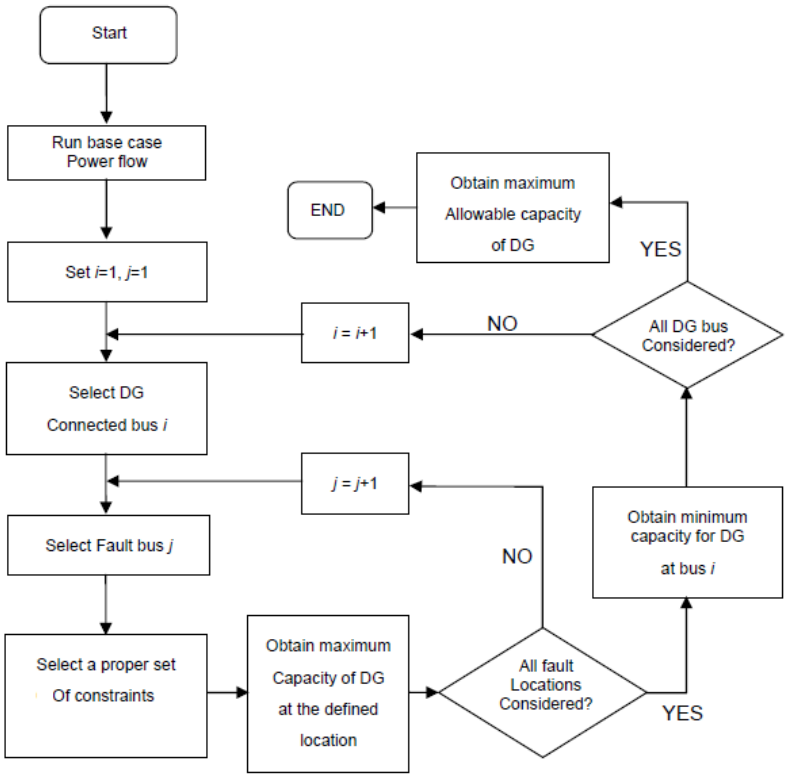
۵. تعیین حداکثر ظرفیت مجاز DG

این بخش یک روش پیشنهادی برای شناسایی حداکثر ظرفیت مجاز DG در هر مکان در امتداد فیدر توزیع تحت محدودیت های فوق ذکر شده است. این روش توسط شکل ۶ نشان داده شده است و می توان آن را به صورت زیر بیان کرد:

۱) حالت اول پخش بار را اجرا کنید و نتایج را ذخیره کنید.

۲) DG را به یک باس i متصل کنید و یک محل خطای تعریف شده در باس j را انتخاب کنید، سپس یک محدودیت حفاظت مناسب را مطابق موارد ذکر شده انتخاب کنید.

۳) یک روش جستجوی مستقیم را برای تابع هدف در (4.1) و محدودیت های تعریف شده برای حداکثر مجاز ظرفیت DG در باس i با توجه به یک خطا در باس j اعمال کنید. نتیجه را ذخیره کنید.
۴) تکرار مرحله۳ با اصلاح DG متصل به باس i و تغییر موقعیت خطای مشخص شده در باس j به هر باس در سیستم.
۵) بر اساس نتایج به دست آمده از مرحله۳و۴، حداقل مقدار را به عنوان راه حل برای حداکثر ظرفیت DG مجاز متصل در باس I انتخاب کنید.
۶) تکرار مرحله۲ تا ۵ برای همه مکان های ممکن DG.



شکل ٦ – فلوچارت تعیین حداکثر ظرفیت مجاز DG

۷. نتیجه‌گیری

در این مقاله به معرفی انواع تولید پراکنده، تاریخچه آنها، کاربرد آنها و خطاهای موجود در آنها پرداختیم. آموختیم که دنیای مدرن امروزی به شدت نیازمند انرژی برق با کیفیت و قابلیت اطمینان بالا است، و با توجه به اینکه منابع سوخت های فسیلی در جهان محدود هستند، تولیدات پراکنده می توانند نقش بسیار مهمی در تولید این انرژی حیاتی داشته باشند و مشکلاتی نظیر: افزایش ساعات خاموشی، آلودگی هوا، تولید گرما و افزایش دمای هوا، تولید گازهای گلخانه ای و... را رفع کنند.

این مقاله یک روش برای تعیین حداکثر ظرفیت مجاز DG با توجه به محدودیت های هماهنگی ولتاژ، از دست دادن و حفاظت ارائه می دهد. در به دست آوردن نتایج، یک روش جستجوی مستقیم با مجموعه ای مناسب از محدودیت های مربوط به DG و مکان های خطا اعمال می شود.

۸. مراجع

۱. سلطانی، م. (۱۳۸۶)، "*تولید الکتریسیته و بهره برداری*" ، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

2. Kaldellis, J. K. and Zafirakis, D, "A short review of a long history, Renewable Energy", The wind energy (r) evolution, vol. 36, pp.1887-1901, 2011.
3. Titti Saksornchai and Bundhit Eua-arporn , "Determination of allowable capacity of distributed generation with protection coordination consideration", engineering journal,Vol.13, Issue 3, pp.29-44, Nov. 2009.
4. El-Khattam, W., Bhattacharya, K., Hegazy, Y., and Salama, M. , "Optimal investment planning for distributed generation in a competitive electricity market", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 19, pp.119-128, 2004.
5. Fleming, P. and Probert, S, "The evolution of wind-turbines: an historical review", Applied energy, vol. 18. pp.163-177, 1984.