**تولید پراکنده: آنالیز پایداری ولتاژ**

**چکیده**

با افزایش استفاده از تولید پراکنده که معمولا به شبکه های توزیع یا شبکه ی انتقال فرعی متصل می شود، پدیده ی پایداری ولتاژ می تواند برای زمانی که سیستم پربار است، قابل پیش بینی باشد. در انتشارات علمی به ندرت یاد می شود که این مشکل می تواند به باس های با ولتاژ کنترل شده مربوط شود؛ یا کنترل ولتاژ می تواند اثر وارونه بر آنچه که در ژنراتورها مورد انتظار است، داشته باشد. این مطالعه پایداری ولتاژ را برای زمانی که یک ژنراتور به شبکه ی توزیع متصل است بررسی می کند. با استفاده از یک ابزار تحلیلی که می تواند پایداری ولتاژ را تحلیل کند، این مقاله یک سیستم 3 باسه را به عنوان سیستم تست که بروز این پدیده در آن نشان داده می شود، توصیف می کند. سپس بوسیله ی سیستم تست 34 باس IEEE، تست هایی برای ارزیابی تاثیر اتصال تولید پراکنده بر پایداری ولتاژ، تلفات توان اکتیو و پروفیل ولتاژ اجرا می کند.

**کلمات کلیدی:**تولید پراکنده، شبکه توزیع، پایداری ولتاژ

1. **مقدمه**

شکل 1، یک ژنراتور تولید پراکنده متصل شده به یک شبکه را نشان می دهد که به عنوان یک منبع ولتاژ سری شده با امپدانس مربوط به خطوط انتقال و تراسفورمرها می باشد.  و  ولتاژهای دو سمت امپدانس ، و  و  توان اکتیو و راکتیو تولید شده توسط ژنراتور پراکنده متصل شده به شبکه می باشد. باری نیز بصورت  در نقطه ای که ژنراتور پراکنده به شبکه متصل شده است، قرار دارد.

مشکل اساسی مربوط به اتصال ژنراتورهای پراکنده به شبکه توزیع این است که جریان ها و توان ها توسط امپدانس  تغییر می کند. به علاوه، افت ولتاژ دو سر امپدانس به مقدار امپدانس بستگی دارد. اگر  بزرگ باشد،  بشدت با تغییر جریان عبوری از  که توسط ژنراتور محلی تولید شده، تحت تاثیر قرار می گیرد.  بصورت زیر داده می شود:

 (1)

که 

و .

با استفاده از (1)، می توان نشان داد که توان تولید شده توسط ژنراتور پراکنده روی ولتاژ  تاثیر می گذارد که این اثر، به بار محلی و امپدانس شبکه بستگی دارد.

اتصال ژنراتورهای پراکنده به شبکه های توزیع، طرح و ساختار چنین شبکه هایی که جریان آن ها در یک جهت یعنی از پست به بارها می باشد، تغییر می دهد. تغییر جهت فلو (جهت پخش توان) پروفیل ولتاژ را تغییر می دهد.

1. **شبیه سازی ها**
2. **اتصال یک ژنراتور به یک سیستم تست 3 باسه**

دیاگرام تک خطی استفاده شده در تست های عددی در شکل 2 نشان داده شده است. با شروع از حالت پایه، ژنراتور پراکنده به باس 1 متصل می شود. پیکربندی های مختلف کنترل ولتاژ باس بررسی شده است.

مسئله پخش توان برای وضعیت های مختلف بارگذاری سیستم ضمن فعالیت ژنراتور پراکنده با و بدون کنترل ولتاژ حل شده است. برای هر نقطه کار منتجه از افزایش بار سیستم، شاخص پایداری ولتاژ محاسبه شده است.

بارگذاری سیستم با افزایش بار باس 2 افزایش می یابد. فاکتورهای مختلف مشارکت در نظر گرفته شده است؛ یعنی هر ژنراتور برای جبران عدم تعادل توان اکتیو منتجه از افزایش بار چقدر سهیم باشد.

در ساختار (1) ژنراتور پراکنده هیچ کنترل ولتاژی ندارد. با تحلیل منحنی های ضریب توان ثابت (منحنی های nose) برای هر ضریب مشارکت، می توان استنتاج نمود که نزدیک ترین ژنراتور به بار، طبق انتظار بیشترین توان را می تواند به بار ارسال کند.

آنالیز شاخص پایداری ولتاژ (حاشیه ی توان با بارگذاری بیشینه [1]) نشان می دهد که حاشیه ی توان با افزایش بارگذاری سیستم کاهش می یابد. این امر نشان می دهد که توان کمتر بصورت پیشرونده می تواند به باس 2 در نقطه ی کار آنالیز شده ارسال شود. در نقطه ی ماکزیمم، مقدار حاشیه صفر است. برای بهره برداری از سیستم در نقطه ی غیر عادی که مقدار حاشیه منفی است؛ مقداری (تعریف شده مانند بار منفی) تعیین می شود که با کم شدن آن از مقدار، ماکزیمم تخمین زده شده حاصل شود.

در ساختار (2)، ژنراتور پراکنده با کنترل ولتاژ است. برخلاف تست قبلی، حداکثر بارگذاری به ضرایب مشارکت باس های 0 و 1 بستگی ندارد. حداکثر توانی که می تواند که به باس 2 ارسال شود تقریبا 66% بزرگتر از مقدار حداکثر بدست آمده برای بهترین وضعیت تست بدون هیچ کنترل ولتاژ روی باس 1 می باشد. علت به فاصله ی الکتریکی کوتاه بین باس 2 و باس کنترل ولتاژ بعدی است که تلاش لازم برای ارسال توان به بار را کاهش می دهد.

آنالیز شاخص پایداری ولتاژ نشان می دهد که این شاخص برای باس 1 پس از مقداری افزایش در بار، منفی خواهد شد. یعنی ژنراتور این باس در ناحیه ی غیرعادی کار می کند و در رابطه با تزریق توان به سیستم دچار مشکل می شود. حاشیه ی توان باس 2 سریعا شروع به افت می کند و ارسال توان به بار مشکل تر می شود. وقتی حاشیه ی توان به صفر نزدیک می شود، باس 2 به مقدار ماکزیمم می رسد. در ادامه، باس 2 در ناحیه ی غیرعادی فعالیت خواهد نمود؛ همانطور که از مقادیر منفی حاشیه ی توان معلوم شده است.

ساختار (3) وضعیتی را نشان می دهد که جبرانساز سنکرون به باس 2 متصل شده است. در نتیجه ولتاژ این باس ثابت بوده و برابر با حالت پایه می باشد. بنابراین باس 2 یک باس PV و باس 1 یک باس PQ می شود. حداکثر توان انتقالی به بار 68% از ساختار 2 و 874% درصد از ساختار 1 بیشتر باشد.

با وجود مفید بودن برای اهداف یادگیری، مقادیر ولتاژ، کمتر از بازه ی عملی معمول می باشد.

1. **اتصال تولید پراکنده به یک سیستم تست 34 باسه**

سیستم استفاده شده در این بخش مبتنی بر سیستم تست 34 باسه IEEE می باشد. دیاگرام تک خطی در شکل 3 نشان داده شده است. با شروع از حالت پایه یک ژنراتور پراکنده به باس 23 نصب شده و افزایش متوالی بار سیستم به میزان 1 درصد اعمال می شود تا زمانی که حداکثر مقدار فرا برسد؛ یعنی زمانی که الگوریتم پخش توان هیچ جوابی نداشته باشد.

در این شبیه سازی ها ژنراتور پراکنده دارای ضریب مشارکت 100% است یعنی مسئول تامین بار افزایش یافته می باشد. دو وضعیت کاری آنالیز شده است: ژنراتور بدون کنترل ولتاژ (1) و با کنترل ولتاژ (2). در وضعیت اول، ژنراتور در ضریب توان واحد کار می کند و بنابراین نمی تواند توان راکتیو جذب/تولید کند یا ولتاژ ترمینال را کنترل کند.

هر پله ی افزایش بار متناظر با یک وضعیت بارگذاری است. نزدیک حداکثر بارگذاری – حالت 287 – شروع به کار در ناحیه ی غیرعادی می کند. همانطور که در شکل 4 معلوم است، از حالت 280 به بعد، باس های متعددی دارای حاشیه ی توان منفی هستند.

تحت چنین شرایطی فعالیت ژنراتور پراکنده با افت ولتاژ و افزایش تلفات محدود می شود ( حالت 146). برای این نقطه کار، توان تولیدی باس 23 برابر با 1290.4 کیلوات است و بار سیستم 1536.4+j1235.9 kVA است که یک افزایش 323.3% را نسبت حالت پایه تجربه می کند. مشکلات پایداری ولتاژ، فقط به این دلیل که سیستم در ناحیه ی غیرعادی از حالت 280 به بعد کار می کند، رخ نمی دهد. شکل 5 پروفیل ولتاژ را برای حالت های بارگذاری مختلف نشان می دهد.

شکل 5 تغییرات تلفات توان اکتیو را حین افزایش بار نشان می دهد. تلفات برای آخرین وضعیت بارگذاری قبل از آنکه تخطی ولتاژ صورت بگیرد (حالت 146) برابر 133.1 کیلووات می باشد. در مقایسه با حالت پایه، (تلفات 16.1 کیلووات) که افزایش 727.4% تلفات مشهود است. بارگذاری بیشتر، تلفات بیشتر متناظر را نتیجه می دهد که برای حالت 287 به 62.9% می رسد.

در وضعیت کاری (2)، ولتاژ ترمینال ژنراتور کنترل شده می باشد. شبیه سازی از حالت پابه شروع شده و از فرضیات مشابه با وضعیت (1) استفاده می شود. برای هر افزایش بار، تعادل توان اکتیو با ژنراتور نصب شده در باس 23 ( با ضریب مشارکت 100%) برقرار می شود و تعادل توان راکتیو برعهده ی ژنراتورهای متصل به باس 0 و 23 است که هر دوی آنها، ظرفیت بی نهایت برای جذب و تولید توان راکتیو دارند.

با آنالیز شاخص پایداری ولتاژ، یعنی حاشیه توان به بارگذاری بیشینه، در شکل 7، هیچ یک از نقاط کار در بخش پایین ضریب توان ثابت قرار نمی گیرند. در نتیجه، هیچ مشکل پایداری ولتاژ برای این شبیه سازی مشاهده نمی شود. مقایسه با شاخص پایداری ولتاژ برای باس 23 نشان می دهد که وضعیت کاری (2) شاخص مربوط به حالتهای آنالیز شده بهتر است. حداقل حاشیه ی توان حدود 30% است؛ در حالیکه در وضعیت کاری (1) کمتر از 10% برای وضعیت های بارگذاری نزدیک به ماکزیمم (حالت 287) بود.

برای حالتهایی که هیچ تخطی ولتاژ وجود ندارد – حالت 254 در وضعیت کاری (2)- شاخص برای باس 23 برابر است با M=34.6%. در وضعیت کاری (2) و حالت 146، بحرانی ترین شاخص برای باس 23، M=97.2% می باشد. با اینحال، اینها برای بارهای کمتر رخ می دهند.

آنالیز شکل 8 نشان می دهد که ولتاژ بیشتر باس های نزدیک به تولید پراکنده پیرامون 0.98 پریونیت باقی می ماند و حین تغییر بارگذاری، تغییر قابل توجهی ندارد. در مقابل، هرچند ولتاژ باس 0 نیز ثابت است اما ولتاژ در ناحیه ی بین باس 3 و 22 با افزایش بارگذاری کاهش می یابد. تخطی های ولتاژ کمتر از 0.95 پریونیت از حالت 254 به بعد رخ می دهند.

حداکثر توان تولیدی باس 23 برابر با 5288.7 کیلووات (حالت 263) است؛ زمانی که سیستم باری برابر با 4738.2+j3811.4 kVA دارد. با این حال، با در نظرگرفتن تنها نقاط کاری که هیچ تخطی ولتاژی ندارند، حداکثر تولید برابر با 4671.3 kW و بار متناظر برابر 4500+j3619.8 (حالت 254) می باشد که تغییر 1139.7 درصدی نسبت به حالت پایه را نشان می دهد. در مقایسه با وضعیت (1) تولید توان اکتیو باس 23 262% و بار سیستم متناظر 192.9% افزایش داشته است.

شکل 9 تغییر تلفات توان راکتیو را بصورت مقادیر مطلق و درصدی از تولید کل به ازای تمامی مقادیر بارگذاری نشان می دهد. با در نظر گرفتن نقاط کاری که تخطی ولتاژ ندارند، حداکثر مقدار تلفات توان اکتیو 550.4 کیلووات است (حالت 254) که 10.9% تولید سیستم بوده و نسبت به حالت پایه 1139.7% افزایش داشته است. با بارگذاری های بعدی نه تنها تخطی ولتاژ بلکه تلفات نیز بصورت قابل توجهی افزایش پیدا می کند. از حالت 254 به 263 5.3% افزایش بار و 68.9% افزایش تلفات مشاهده می شود که در نهایت تلفات توان اکتیو 929.6 کیلووات می باشد.

1. **نتیجه گیری**

با افزایش تولید پراکنده که معمولا به شبکه ی توزیع حاضر در ولتاژهای پایین اتصال می یابد، پدیده ی پایداری ولتاژ قابل پیش بینی است.

یک ژنراتور پراکنده به یک سیستم 3 باسه اتصال یافته و مدهای کاری متعددی شبیه سازی شد. نقاط کار بدست آمده از این راهکار طبق شاخص پایداری ولتاژ ارزیابی شد. مشاهده شد که نقاط کاری یافت می شود که در آن عملیات کنترل ولتاژ اثر معکوسی بر آنچه که مورد انتظار است، دارد و توان اکتیو بیشینه ای وجود دارد که توسط ژنراتور پراکنده تولید و در ولتاژهای پایین به سمت بار ارسال شود.

در آنالیز دیگر، شبیه سازی ها با استفاده از سیستم تست 34 باس اجرا شد. یک ژنراتور به یک باس از سیستم با و بدون کنترل ولتاژ متصل شده و افزایش بار برای هر دو حالت کار شبیه سازی شد. مشکلات پایداری ولتاژ در یک ناحیه ی کار با تخطی بالای ولتاژ و تلفات توان اکتیو بالا رخ داد. بنابراین، همانطور که در تست های اجرا شده مورد توجه قرار می گیرد، پایداری ولتاژ برای تولید پراکنده یک محدودیت نیست.