

# آموزش روشی جدید برای حفاظت قطع شبکه‌ی اصلی ژنراتورهای جاسازی شده

احمد دارابی<sup>۱</sup>، مهدی سعدی<sup>۲</sup>، امیر حسن نیا خیبری<sup>۳</sup> و تیمور قنبری<sup>۴</sup>

## چکیده

به کارگیری ژنراتورهای جاسازی شده در شبکه‌های توزیع، به سرعت در حال گسترش است. این ژنراتورها می‌توان به صورت موازی در شبکه‌ی برق سراسری استفاده نمود. از طرفی سامانه‌های موجود تولید، انتقال و توزیع برق بر اساس تولید متمرکز و بدون آموزش افراد متخصص در زمینه ژنراتورهای جاسازی شده طراحی شده است. به کارگیری این ژنراتورها، عواقبی را در زمینه کنترل و حفاظت آنها در پی داشته است. از جمله موضوعاتی که متعاقب بحث به کارگیری ژنراتورهای جاسازی شده پیش می‌آید، اهمیت تدوین و آموزش روش‌های حفاظت ژنراتور در برابر فقدان شبکه‌ی اصلی برق (Loss Of Main) بسیار قابل توجه است. تدوین یک سامانه آموزشی کارآمد باید وقوع این پدیده را تشخیص دهد و بین آن و دیگر وقایع شبکه از جمله تغییر بار و یا خطاهای معمول تفاوت قائل شود. در این مقاله روش جدیدی برای آموزش آشکارسازی LOM ارائه شده است که نسبت به روش‌های موجود عملکرد بهتری دارد. این روش براساس تفاوت بین امپدانس‌های توالی ژنراتور پایه ریزی شده است. با شبیه‌سازی یک سامانه توسط نرم‌افزار MATLAB/SIMULINK و ارزیابی عملکرد آن، برتری این روش مشخص می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تولید جاسازی شده، فقدان شبکه اصلی برق، جزیره توان، شاخص آشکارسازی

## ۱- مقدمه

مصرف، به حداقل رساندن تلفات و افزایش سهم انرژی به دست آمده از منابع کوچک و تجدیدپذیر است. بنابراین، امروزه سامانه‌های قدرت در جهت به کارگیری تعداد زیادی ژنراتور کوچک بجای تعداد کمی ژنراتور بزرگ گام برمی‌دارند.

بیش از سه دهه از گسترش استفاده از واحدهای تولیدی کوچک و متوسط که موازی با شبکه‌ی تأمین برق کار می‌کنند و تولید را به صورت محلی انجام می‌دهند، نمی‌گذرد. مزایای فراوان چنین تولیداتی که تولید جاسازی شده، تولید توزیع شده، و یا تولید غیرمتمرکز نیز نامیده می‌شوند، تمایل صنعت برق را به استفاده روزافزون از آن در پی داشته است. مزایای مهم این نوع تولیدات عبارت‌اند از: استفاده هم‌زمان از برق و گرمای تولیدی ژنراتور، قابلیت اطمینان بیشتر، خصوصی سازی بازار برق، بهبود کار سامانه با کاهش تقاضای برق از شبکه‌ی سراسری امکان به تعویق انداختن تقویت سامانه‌های تولید و انتقال با به کارگیری منابع کوچک و تجدیدپذیر و مقابله با خطرات زیست‌محیطی ناشی از سوخت‌های فسیلی و

ساختار سامانه‌های قدرت موجود بر اساس تولید برق در نیروگاه‌های بزرگ و انتقال توان به نقاط مصرف هستند و همه سامانه‌های کنترلی و حفاظتی در چنین شبکه‌هایی بر اساس پخش توان از سطوح بالا به پایین هستند. با وجود مزایای فراوان ساختار معمول سامانه‌های تولید و توزیع توان، نمی‌توان آنها را بدون نقص دانست. در حال حاضر میلیون‌ها وات از توان الکتریکی، از منابع متفاوت همچون سوخت‌های فسیلی، هسته‌ای و منابع تجدیدپذیر حاصل می‌شوند که با توجه به کاهش چشمگیر منابع فسیلی و مشکلات زیست‌محیطی آن و مخاطرات سوخت هسته‌ای، چشم‌انداز آینده انرژی، کاهش و بهینه‌سازی

مقاله دریافت ۸۷/۱۱/۱۳ دریافت و در تاریخ ۸۷/۳/۲۷ به تصویب نهایی رسید.

<sup>۱</sup> استادیار، دانشکده برق و رباتیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

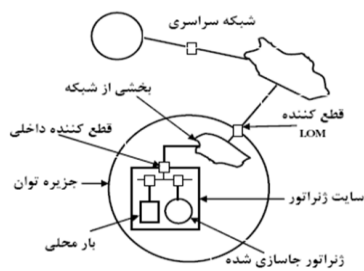
پست الکترونیکی: darabi\_ahmad@hotmail.com

<sup>۲</sup> فارغ التحصیل برق، قدرت، دانشگاه صنعتی شاهرود

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، برق-قدرت، دانشگاه

صنعتی شاهرود

<sup>۴</sup> فارغ التحصیل برق، قدرت، دانشگاه صنعتی شاهرود



شکل ۱ ساختار شبکه همراه با وضعیت LOM

اهمیت تشخیص LOM را می‌توان به طور مختصر چنین بیان کرد که LOM سبب می‌شود، توان ژنراتور به طرف آن بخش از بار شبکه که منبع خود را از دست داده، جریان یابد. در صورتی که بار باقیمانده از شبکه در بخش جزیره توان، بیشتر از توان ژنراتور جاسازی شده باشد، LOM به طور معمول باعث اضافه بار بر روی ژنراتور جاسازی شده خواهد شد و ممکن است ولتاژ و فرکانس ژنراتور افت کند. این شرایط باعث خواهد شد که در صورت عدم وجود سامانه حفاظتی پیشرفته‌تر، ژنراتور جاسازی شده به وسیله سامانه حفاظتی اضافه بار از کار بیفتد و بار متصل به آن نیز بدون تغذیه رها شود. از طرف دیگر در صورتی که ژنراتور بعد از قطع شبکه تحت اضافه بار قرار نگیرد و به کار خود ادامه دهد، با وصل مجدد شبکه ممکن است از شرایط سنکرونیسم خارج شود. در این مورد، به ویژه در هنگام قطع و وصل شدن کلیدهای بازبست خودکار (Recloser) که پس از رفع یک خطای کوچک بلافاصله وصل می‌شوند، امکان خطر بالاست. همچنین کارکرد مستقل ژنراتور جاسازی شده می‌تواند برای مهندسی شبکه که از فعال بودن ژنراتور خبر نداشته و بخش جدا شده را خاموش فرض می‌کند، خطرناک باشد. چگونگی زمین شدن ژنراتور جاسازی شده نیز بر پیچیدگی مسایل و مشکلات LOM تأثیرگذار است. با توجه به این مسایل، LOM به حالتی اطلاق می‌شود که شبکه متصل به سایت ژنراتور جاسازی شده هیچ گونه ژنراتوری نداشته باشد. با این تعریف، تشخیص LOM به سادگی محدود به تشخیص وجود یا عدم وجود ژنراتور در بخش باقیمانده شبکه است.

هسته‌ای.

این گونه تولیدات که بیشتر خصوصی و کوچک هستند (از حدود چند کیلو وات تا دهها مگاوات)، به طور مرکزی مدیریت نمی‌شوند و به شبکه‌های ولتاژ پایین و متوسط وصل شده و در کنترل ولتاژ و فرکانس شبکه دخالتی ندارند [۱]. به هر حال امتیازات استفاده از ژنراتورهای جاسازی شده، سامانه‌های قدرت را به سمت سازگاری و سهولت برخورداری از این گونه ژنراتورها سوق می‌دهند [۲،۳]. بنابراین امکان سنجی و پیش‌بینی اقدامات حفاظتی و کنترلی لازم جهت پیشامدهای متفاوت سامانه‌های جدید دربرگیرنده ژنراتورهای جاسازی شده، حائز اهمیت است. عملکرد موازی ژنراتور جاسازی شده در یک شبکه توزیع، مسایلی را برای قابلیت اطمینان کارکرد هر دو سامانه در پی دارد. این مسایل از آنجا ناشی می‌شوند که ژنراتور قابلیت تغذیه توان به شبکه را دارد ولی مستقل از سامانه‌های کنترلی شبکه کار می‌کند. یکی از مهم‌ترین مسایل، لزوم محافظت ژنراتور جاسازی شده در مقابل عدم وجود منبع اصلی تولید شبکه سراسری (LOM) است. پدیده LOM زمانی اتفاق می‌افتد که تولید جاسازی شده از منبع برق سراسری قطع شده و به یک بخش کوچک از شبکه سراسری محدود شود. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، به طور معمول به دنبال عمل کردن یکی از قطع کننده‌های شبکه که دو منبع تولید را از هم جدا می‌کند چنین وضعیتی پیش می‌آید [۴]. بسته به میزان بار و تولید در بخش جدا شده یا جزیره توان، ژنراتور جاسازی شده می‌تواند تا زمانی که فرکانس و ولتاژ سامانه در محدوده مجاز عملکرد قرار داشته باشد، به طور مستقل به کار خود ادامه دهد [۵-۷]. طبق استاندارد IEEE، یک جزیره توان، بخشی از یک سامانه قدرت شامل یک یا چند منبع توان و بار است که برای یک دوره زمانی از سایر بخش‌های سامانه جدا شده است [۸]. همه ژنراتورهای جاسازی شده بزرگتر از ۱۵۰ کیلووات که موازی با شبکه کار می‌کنند نیازمند یک حداقل حفاظت شامل اضافه ولتاژ، فرکانس و تشخیص LOM هستند [۳]. لذا تشخیص و حفاظت در مقابل LOM یکی از بخش‌های اصلی سامانه حفاظتی یک ژنراتور جاسازی شده است.

## ۲- روش‌های آشکارسازی LOM

با توجه به این که سوئیچ‌ها، فیوزها، بریکرها و ریکلوزرها زیادی بین یک ژنراتور جاسازی شده و شبکه سراسری در مکان‌ها و وضعیت‌های متفاوتی وجود دارد و باز شدن برخی از آنها ممکن است به یک LOM با رفتار و عملکرد متفاوت منجر شود، یک طرح مطمئن LOM باید برای همه گزینه‌های ممکن پاسخ‌گو باشد. طرح مورد نظر باید آشکارسازی را در محدوده زمانی مجاز که به وسیله‌ی شبکه تعیین می‌شود انجام دهد. هنگام انتخاب یک طرح، در نظر گرفتن نوع و مشخصات واحد تولیدی جاسازی شده مهم است. ژنراتور می‌تواند از انواع سنکرون، القایی و حتی در موارد انرژی‌های تجدیدپذیر همراه با اینورتر باشد. ممکن است یک طرح حفاظتی برای یک نوع ژنراتور بسیار مناسب اما برای نوع دیگر نامناسب باشد. استراتژی مورد نظر حتی الامکان باید میان LOM و اختلال‌های، خطاها و سایر وقایع شبکه تفاوت قائل شود و از بروز قطعی‌های بی‌مورد جلوگیری کند. این مورد در کارایی و قابلیت اطمینان آن بسیار حائز اهمیت است [۵].

قابل اطمینان‌ترین راه تشخیص LOM داشتن ارتباط مخابراتی بین شبکه و ژنراتور جاسازی شده برای اعلام خطر و قطع کردن ژنراتور است. این روش برای انواع ژنراتورها قابل استفاده است و با وجود کارآمدی، در حال حاضر بسیار گران و غیراقتصادی است. سیم خصوصی، کانال‌های مشترکین شرکت‌های تلفن و در سال‌های اخیر انتقال رادیویی AM یا FM، فیبر نوری و اینترنت از جمله ابزارهای ارتباطی اعلام قطع بین دو سامانه هستند.

فن‌های محلی تکیه بر اطلاعات و سوابق سایت ژنراتور جاسازی شده دارند و وضعیت LOM را بر اساس سیگنال‌های در دسترس ژنراتور، تشخیص می‌دهند. هنگامی که شاخص‌های اندازه‌گیری شده یا استنتاج شده، از یک مقدار آستانه ویژه تجاوز کند، LOM تشخیص داده می‌شود. یک مزیت بزرگ روش‌های محلی این است که به مخابره سیگنال نیاز ندارند و این مسأله هزینه آنها را پایین می‌آورد. اجرای این روش‌ها متأثر از نوع ژنراتور جاسازی شده نبوده و به نسبت آسان است. تمامی این روش‌ها به تفصیل در مراجع متفاوت بررسی شده اند [۳-۷].

اما در روش جدید، شبکه‌ای به صورت شکل ۱ فرض

می‌شود. دو حالت متفاوت برای این شبکه مفروض است:

۱) در بخش باقیمانده شبکه هیچ ژنراتوری وجود نداشته باشد.

۲) بخش باقیمانده شبکه شامل حداقل یک یا چند ژنراتور باشد.

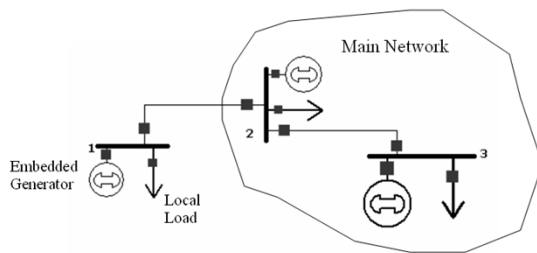
در حالت اول تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین امپدانس معادل توالی مثبت شبکه و امپدانس معادل توالی منفی آن وجود ندارد، زیرا اکثر عنصرهای شبکه دارای امپدانس‌های توالی مثبت و منفی برابر هستند. اما در حالت دوم این تفاوت محسوس است. زیرا امپدانس معادل ژنراتور سنکرون در مقابل توالی‌های مثبت و منفی دارای تفاوت قابل ملاحظه‌ای است. در این مقاله، از تفاضل امپدانس‌های توالی مثبت و منفی شبکه به عنوان معیاری برای تشخیص و تمایز این دو حالت استفاده شده است.

## ۳- امپدانس‌های توالی عنصرهای شبکه

امپدانس توالی مثبت و منفی برای اکثر عنصرهای شبکه به تقریب برابر است. این امپدانس‌ها برای بارهای تکفاز، بارهای سه فاز امپدانسی و ترانسفورماتورها دارای مقدارها به دقت برابرند، خطوط انتقال نیز بیشتر دارای جابه‌جایی فاز (Transpose) بوده و امپدانس‌های توالی مثبت و منفی برابری دارند. اما موتورهای القایی سه فاز دارای تفاوت اندکی در امپدانس‌های توالی مثبت و منفی هستند. البته این تفاوت نسبت به تفاوت امپدانس‌های توالی مثبت و منفی در ژنراتورهای سنکرون بسیار ناچیز است و مشکلی در تمایز این دو عنصر ایجاد نمی‌کند.

تفاوت امپدانس‌های توالی مثبت و منفی در ژنراتور سنکرون از جهت چرخش روتور ناشی می‌شود. مقدار امپدانس توالی مثبت هنگامی به دست می‌آید که جریان توالی مثبت بر اثر اعمال مجموعه ولتاژهای توالی مثبت، جاری شود. ترتیب فاز در مجموعه ولتاژهای توالی مثبت به صورتی است که باعث ایجاد میدان دوار هم جهت با چرخش رتور خواهد شد. امپدانس توالی مثبت ژنراتور در حالت‌های دائمی، گذرا و زیرگذرا به ترتیب برابر  $X_d$ ،  $X_d'$  و  $X_d''$  است. اما مجموعه ولتاژهای توالی منفی باعث ایجاد میدان در خلاف جهت چرخش رتور می‌شوند. بنابراین، سیم‌پیچ

در دستگاه مرجع abc مدل‌سازی شده است [۱۰].



شکل ۲ سامانه شبیه‌سازی شده

شاره‌های ارتباطی  $[\lambda]$ ، ولتاژهای القایی داخلی ژنراتور  $[e]$  و گشتاور الکترومغناطیسی  $T_e$  آن به ترتیب با معادله‌های ۴ تا ۶ مشخص می‌شوند:

$$[\lambda] = [L(\theta)][I] \quad (4)$$

$$[e] = \frac{d[\lambda]}{dt} \quad (5)$$

$$T_e = \frac{1}{2} [I]^T \frac{d[L(\theta)]}{d\theta} [I] \quad (6)$$

که در آن ماتریس اندوکتانس‌های خودی و متقابل سیم‌پیچی تحریک و فازهای استاتور که وابسته به موقعیت روتور  $(\theta)$  هستند و بردارهای جریان و ولتاژ ژنراتور به ترتیب با معادله‌های ۷ تا ۹ بیان می‌شوند:

$$L = \begin{bmatrix} L_{ff} & L_{fa} & L_{fb} & L_{fc} \\ L_{af} & L_{aa} & L_{ab} & L_{ac} \\ L_{bf} & L_{ba} & L_{bb} & L_{bc} \\ L_{cf} & L_{ca} & L_{cb} & L_{cc} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$I = [i_f, i_a, i_b, i_c]^T \quad (8)$$

$$V = [v_f, v_a, v_b, v_c]^T \quad (9)$$

#### ۴-۲ تنظیم‌کننده ولتاژ

تنظیم‌کننده ولتاژ یا AVR، تنظیم ولتاژ ژنراتور را با تغییر ولتاژ میدان انجام می‌دهد. شکل ۳ سامانه شامل بلوک نمونه‌برداری و یک‌سوسازی ولتاژ ترمینال  $V_t$ ، ولتاژ مرجع  $V_{ref}$ ، سیگنال خطا  $V_e$ ، تنظیم‌کننده ولتاژ، تحریک‌کننده و ژنراتور سنکرون را نشان می‌دهد. به طور معمول AVR از یک کنترل‌کننده PID برای تنظیم ولتاژ استفاده می‌کند که در شکل ۴ نمایش داده شده است. ولتاژ خروجی AVR، بعد از تقویت لازم به مدار تحریک ژنراتور اعمال می‌شود [۱۱]. پارامترهای AVR مشخص شده در شکل ۴

میدان تأثیری در این امیدانس نداشته و تنها متأثر از سیم‌پیچ میراکننده در محور عمودی ماشین است. امیدانس توالی منفی ژنراتور به تقریب با راکتانس زیرگذرای توالی مثبت برابر است. امیدانس توالی صفر نیز به تقریب برابر راکتانس پراکندگی استاتور است. به طور خلاصه امیدانس‌های توالی ژنراتور با معادله‌های ۱ تا ۳ به پارامترهای دینامیکی آن مربوط می‌شوند.

$$X^+ = X_d \quad (1)$$

$$X^- = X_d'' \quad (2)$$

$$X^0 = X_l \quad (3)$$

امروزه روش‌های مدرنی برای تعیین پارامترهای دینامیکی ژنراتورها ارایه شده [۹] و مقادیرهای آن به عنوان بخشی از مشخصات ماشین در دسترس است. بنابراین، مدل‌سازی ژنراتورهای شبکه در حالت‌های متفاوت توالی فاز، به آسانی امکان‌پذیر است.

سایر عنصرهای شبکه هم تفاوت چندانی در امیدانس توالی مثبت و منفی ندارند. لذا تفاضل بین امیدانس‌های معادل توالی مثبت و منفی در یک شبکه، وجود یا عدم وجود ژنراتور سنکرون را در آن شبکه مشخص می‌کند.

#### ۴-۴ مدل‌سازی

سامانه انتخاب شده برای شبیه‌سازی شامل یک ژنراتور سنکرون کوچک به همراه سامانه‌های کنترل ولتاژ، فرکانس و توان است. این شبکه شامل یک بار محلی روی شین ژنراتور جاسازی شده نیز است. بخش جزیره توان در این شبکه با دو باس دارای بار و تولید مطابق شکل ۲ مدل می‌شود. مدل‌سازی دقیق تمام اجزای این سامانه، رفتار به نسبت کاملی از شبکه را در شرایط متفاوت نشان داده و امکان مطالعه دقیق‌تر عملکرد سامانه را فراهم می‌آورد.

#### ۴-۱ ژنراتور

ژنراتور اصلی‌ترین بخش سامانه بوده که از محدوده عملکرد دینامیکی وسیعی برخوردار است. ژنراتور شبیه‌سازی شده در این مقاله یک ژنراتور سه فاز  $31.5 \text{KVA}$ ،  $380 \text{V}$ ،  $50 \text{Hz}$ ،  $1500 \text{rpm}$ ، با اتصال ستاره است که براساس معادله‌های دینامیکی حالت نرمال حاکم بر آن با پارامترهای مشخص

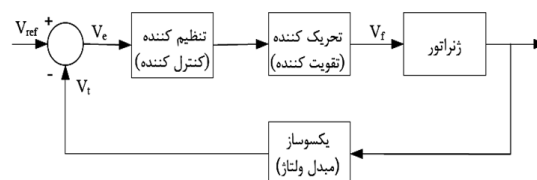
به قرار زیر است:

**۴-۴ بار الکتریکی**

بار متصل به ژنراتور جاسازی شده و بارهایی که در شبکه وجود دارند، به طور معمول بارهای سلفی پس‌فاز هستند که به صورت مقاومت و سلف سری مدل‌سازی شده‌اند. این گونه بارها در پایداری سامانه‌های قدرت تأثیر قابل ملاحظه‌ای دارند.

$$T_f = 0.046, \quad K_p = 4.8, \quad T_{d1} = 0.345, \quad T_{d2} = 0.0067$$

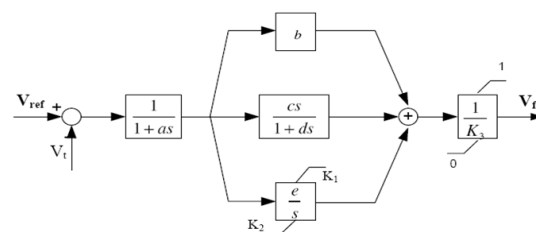
$$T_i = 13, \quad I_{\max} = 5.1, \quad I_{\min} = -5.1, \quad 0 < V_f < 1$$



شکل ۳ مدل ژنراتور و AVR

**۴-۵ شبکه**

می‌توان شبکه متصل به باس بی‌نهایت را به صورت فقط یک ژنراتور بزرگ و یک بار بزرگ فرض کرد. اما برای تحلیل حالت‌های که فقط یک ژنراتور در شبکه‌ی اصلی باقی می‌ماند و لزوم تمایز بین این حالت و وضعیتی که تمام شبکه اصلی از دست می‌رود، سامانه مورد مطالعه به صورت شکل ۲ مدل‌سازی شده است. در این شبکه امکان شبیه‌سازی قطع بخشی از بار یا تولید شبکه وجود دارد.



شکل ۴ مدل تنظیم کننده ولتاژ خودکار

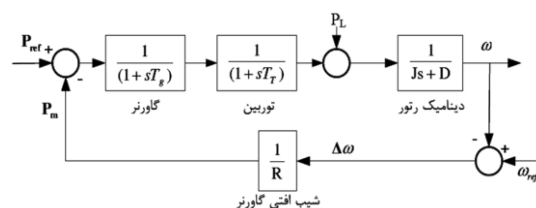
**۵- بررسی عملکرد سامانه**

همان‌گونه که بیان شد، روش پیشنهادی بایستی قادر به تشخیص قطع شبکه اصلی و شرایط مشابه مانند سوئیچ بار باشد. شاخص مورد استفاده به صورت تفاوت بین امپدانس‌های توالی مثبت و منفی معادل شبکه تعریف شده است. به طور طبیعی در شبکه‌های توزیع، مجموعه ولتاژهای توالی مثبت و منفی وجود دارند. لذا جریان‌های هر دو توالی نیز در شبکه جاری خواهند شد. امپدانس توالی مثبت از نسبت ولتاژ توالی مثبت به جریان توالی مثبت محاسبه می‌شود. امپدانس توالی منفی نیز از نسبت ولتاژ توالی منفی به جریان توالی منفی محاسبه می‌شود. شکل ۶ تفاضل این دو امپدانس را در شرایطی نشان می‌دهد که در آن به ترتیب بار  $I_3$ ، ژنراتور  $G_3$ ، بار  $I_2$  و در نهایت ژنراتور  $G_2$  در لحظات ۱، ۲، ۳ و ۴ ثانیه قطع می‌شوند.

تغییرهای اندک و یا گذرا در شاخص مذکور نشان دهنده پدیده‌هایی همچون سوئیچینگ، قطع بار و ... و یا مربوط به خطاهای محاسبه‌ها امپدانس‌های توالی شبکه هستند. اما تغییرهای دائمی و محسوس در این شاخص، بیانگر قطع و

**۴-۳ گاورنر**

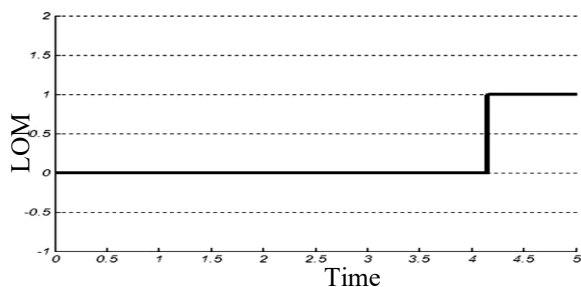
وظیفه کنترل توان و فرکانس سامانه بر عهده گاورنر است. گاورنر واحد تولیدی، تابع اولیه کنترل سرعت را فراهم می‌آورد که بلوک نمودار آن در شکل ۵ نشان داده شده است.



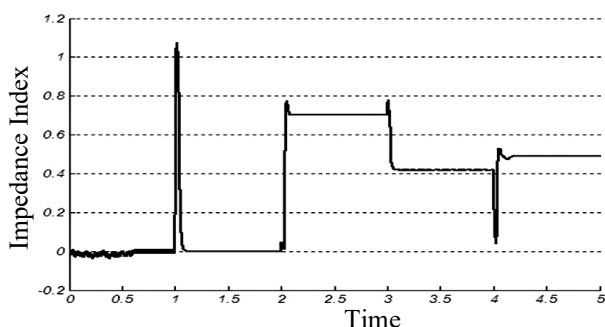
شکل ۵ مدل گاورنر و سامانه کنترل سرعت

پارامترهای گاورنر نشان داده شده در این شکل به صورت زیر است:

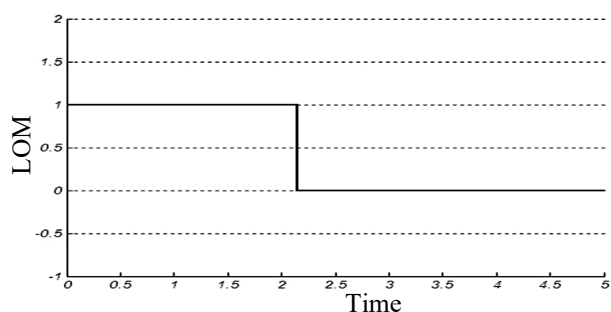
$$T_T = 0.02, \quad T_g = 0.004, \quad J = 1, \quad D = 0.01, \quad R = 0.05$$



شکل ۷ سیگنال تشخیص دهنده LOM



شکل ۸ تغییرات شاخص امپدانس هنگام وصل ترتیبی عنصرهای شبکه

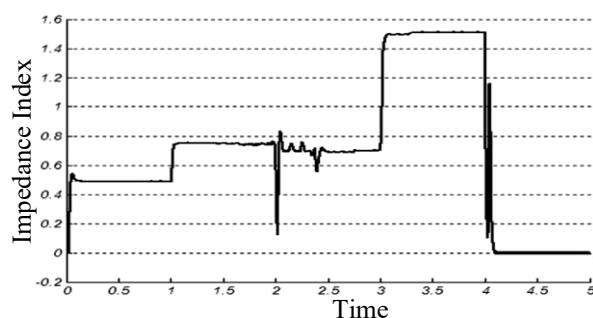


شکل ۹ سیگنال تشخیص دهنده LOM

روشهای فعلی دارای دقت و قابلیت اطمینان بسیار پائین‌تری نسبت به روش پیشنهادی هستند. افزون بر این، روشهای فعلی قادر به تشخیص دقیق باقیماندن یک ژنراتور در بخش باقیمانده شبکه نبوده و تنها قطع ناگهانی بخش بزرگی از شبکه را مشخص می‌کنند [۱۲]. در عین حال روش جدید جزء فن‌های محلی تشخیص LOM بوده و نیازی به ارتباط مخابراتی در شبکه وجود ندارد.

وصل ژنراتورهای سنکرون در شبکه است. هنگامی که مقدار شاخص بسیار نزدیک صفر شود، پدیده LOM رخ داده است، زیرا هیچ ژنراتوری در بخش باقیمانده شبکه وجود ندارد.

همان گونه که شکل ۶ نشان می‌دهد، تا زمانی که آخرین ژنراتور در بخش باقیمانده شبکه وجود دارد، مقدار شاخص تعریف شده، قابل ملاحظه است. اما پس از قطع تمام ژنراتورهای بخش باقیمانده، این شاخص به صفر نزدیک خواهد شد. علاوه بر این، برای جلوگیری از تشخیص نادرست LOM در حالات مشابه، شاخص تعریف شده توسط یک عنصر حافظه‌دار پردازش می‌شود. این پردازنده بین حالات LOM که در آن شاخص تعریف شده به طور دائمی و پایدار نزدیک صفر است و حالات مشابه که شاخص مزبور دچار تغییرات اندک و گذرا می‌باشد، تمایز قائل می‌شود. سیگنال پردازش شده در شرایط فوق به صورت شکل ۷ خواهد بود. شکل ۸ همین شاخص را در شرایطی نشان می‌دهد که در آن به ترتیب بار  $L_3$ ، ژنراتور  $G_3$ ، بار  $L_2$  و در نهایت ژنراتور  $G_2$  در لحظات ۱، ۲، ۳ و ۴ ثانیه به شبکه وصل می‌شوند. پردازشگر سیگنال تشخیص LOM، سیگنالی به صورت شکل ۹ را نشان خواهد داد. این شکل نشان می‌دهد که با اتصال اولین ژنراتور به بخش باقیمانده شبکه، طبق تعریف، LOM از بین می‌رود. این روش قادر است وضعیت LOM تعریف شده را به دقت و بدرستی تشخیص داده و از سایر حالات مشابه متمایز نماید.



شکل ۶ تغییرهای شاخص امپدانس هنگام قطع ترتیبی عنصرهای شبکه

## ۶- نتیجه گیری

روش ارایه شده بر روی یک شبکه توزیع مورد بررسی قرار گرفت. در روش آموزشی جدید از شاخص تفاضل امپدانس‌های معادل توالی مثبت و توالی منفی شبکه برای تشخیص قطع شبکه‌ی اصلی استفاده می‌شود. شبیه‌سازی سامانه توزیع و بررسی شاخص پیشنهادی، بیانگر دقت و قابلیت اطمینان بسیار عالی روش ارائه شده نسبت به روش‌های قبلی است.

ارایه و آموزش روش‌های حفاظت ژنراتورهای جاسازی شده در مقابل قطع شبکه اصلی برق، یکی از چالش‌های جدید در طراحی سامانه‌های قدرت است. تاکنون روش‌های متفاوتی در این زمینه معرفی و اپراتورها و سیستم‌های هوشمند شبکه برای به کارگیری آن تربیت و آموزش داده شده‌اند ولی متأسفانه این روش‌ها بیشتر دقت و قابلیت اطمینان بالایی ندارند. در این مقاله روش جدیدی برای آشکارسازی این پدیده معرفی و آموزش داده شده است.

## مراجع

- [1] Geidl M., *Protection of Power Systems With Distributed Generator*, Power Systems Laboratory Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich, 20th July 2005.
- [2] Conner S.J., *"Distributed Dispatching for Embedded Generation"*, Ph.D Thesis, University of Strathclyde, August 2003.
- [3] Kane P.O., Fox B., *"Loss of mains detection for embedded generation by system impedance monitoring"*, IEE Conference Publication, Developments in Power System Protection, No. 434, March 1997, pp. 95-98.
- [4] Affonso C.M., Freitas W., Xu W., Silva L.C.P., *"Performance of ROCOF Relay for Embedded Generation Application"*, IEE Proceeding Generation Transmission Distribution, Vol. 152, No. 1, Jan. 2005, pp. 109-114.
- [5] Redfern M.A., Usta O., Fielding G., *"Protection against loss of utility grid supply for a dispersed storage and generation unit"*, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 8, No. 3, July 1993, pp. 948-954.
- [6] Bartlett M.G., Redfern M.A., *"A Review of Techniques for the Protection of Embedded Generation Against Loss of Grid"*, Proceeding UPEC 2000, Power Engineering, Belfast, Sept. 2000.
- [7] Redfern M.A., Usta O., Fielding G., Walker E.P., *"Power based algorithm to provide loss of grid protection for embedded generation"*, IEE Proceeding Generation Transmission Distribution, Vol. 141, No. 6, Nov. 1994, pp. 640-646.
- [8] IEEE Standard 1547-2003, *"IEEE Standard for interconnecting distributed resources with electric power systems"*, IEEE Standards Coordinating Committee 21, 2003.
- [9] Hassannia A., Darabi A., *"Estimation of Dynamic Parameters of a Synchronous Generator using Genetic Algorithm"*, under review at Transactions on Electrical and Electronic Engineering.
- [10] Darabi A., *"Auxiliary windings, supplying the AVR of a brushless synchronous generator"*, Eighth International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Vol. 1, Sept 2005, pp. 81-85.
- [11] Darabi A., Tindall C.E., *"Analogue AVR model for use in real time transient simulation of small salient pole alternators"*, IEE Conference Publication, Power Electronics, Machines and Drives, No. 487, April 2002, pp. 451-455.
- [12] سعدی مهدی، "عملکرد موازی ژنراتورهای کوچک در شبکه‌های توزیع"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۳۸۶.